МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Клименко Олексій Андрійович

УДК 629.01:629.33

СИСТЕМНЕ УПРАВЛІННЯ ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ЗМЕНШЕННЯМ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

О.А. Клименко

Науковий консультант Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Клименко О.А. Системне управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Національний транспортний університет, Київ, 2021.

Дисертаційне дослідження спрямовано на розроблення теоретичних засад, методів і технологій системного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами. Результати теоретичних та експериментальних досліджень, створені у роботі технології, методи, обладнання, та пропозиції щодо державного регулювання у визначеній сфері спрямовані на розв’язання важливої науково-прикладної проблеми реалізації системного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Актуальність напряму дослідження визначає суспільна потреба у створенні інструментів та розробленні системних заходів для комплексного розв’язання проблем підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами, відповідно, зменшення енергетичної залежності транспортного сектору, підвищення якості атмосферного повітря міст, забезпечення виконання Україною міжнародних зобов’язань у сфері зміни клімату в частині обмеження та інвентаризації викидів дорожнім транспортом парникових газів.

У роботі вирішено такі завдання:

1. Розроблено концепцію, систему, що її реалізує, математичний апарат та математичні моделі системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

2. Визначено оптимальні напрями і межі доцільного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні.

3. Забезпечено розвиток технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами.

4. Розроблено основи прогресивної системи регулювання істотних екологічних властивостей дорожніх транспортних засобів.

5. Забезпечено створення і широке впровадження інструментів для підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами вдосконаленням системи нормування та управління витратами енергії в експлуатації.

6. Вирішено комплекс пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

7. Розроблено рекомендації щодо комплексного подальшого впровадження та розвитку розроблених у роботі системних підходів і технологій, що забезпечують системне управління підвищенням ефективності

використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Наукову новизну отриманих результатів складають:

1. *Вперше* створена концепція, система, що її реалізує, та математичний апарат, що забезпечують системне управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами, що дозволяє визначити оптимальні напрями і межі доцільного системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ в Україні, отримати науково обґрунтовані прогнози зміни структури парку ДТЗ, споживання різних видів енергії та викидів CO2 дорожнім транспортом в Україні на період до 2050 р., визначити рівні доцільних та оптимальних екологічних вимог і вимог до енергоефективності конструкції ДТЗ, та часових рамок їх впровадження в Україні, оцінити вплив заходів із стимулювання та різних сценаріїв збільшення частки електромобілів у парку ДТЗ країни на сукупні зведені викиди токсичних речовин у повітря, споживання первинної енергії, викиди парникових газів на період до 2050 р., визначити доцільні диференційовані рівні вимог, терміни впровадження та наступної дії зон низької емісії (екологічних зон) в містах на оглядову перспективу.

2. *Вперше* в Україні створений комплекс технологій, обладнання і запатентованих методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів ЗР ДТЗ, що надав можливості з проведення випробувань ДТЗ та їх двигунів відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів у цій сфері, та принципово нові можливості з проведення наукових досліджень в різних сферах.

3. *Вперше* розроблені основи системи регулювання істотних екологічних властивостей ДТЗ, які включають: пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом та реалізації державної політики у сфері маркування та

регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів; результати дослідження зведених викидів ЗР автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки; запропоновану уніфіковану систему маркування рівнів екологічної небезпеки ДТЗ в частині інгредієнтного забруднення та, відповідно, рівнів диференційованих екологічних зон в містах; визначені обґрунтовані рівні вимог до транспортних засобів в екологічних зонах, що є доцільним запроваджувати в Україні; отримані результати комплексного дослідження агрегованої токсичності ДТЗ, що включає 64 види ЗР, що запропоновано як основу для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря.

4. *Вперше*, на основі проведених випробувань в європейському їздовому циклі NEDC великої репрезентативної вибірки автомобілів, розроблених і сертифікованих раніше відповідно до вимог північно-американських стандартів, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, отримано характеристики розподілу цієї продукції щодо відповідності вимогам екологічних стандартів за окремими нормованими компонентами та залежно від загального пробігу; доведено неефективність задекларованої функції повідомлення OBD про перевищення встановлених нормативних значень питомих викидів, а також чинних стандартів технічного огляду в частині інструментального контролю екологічної небезпеки сучасних ДТЗ, що підтверджує необхідність розроблення нових підходів у цій сфері, до яких надано пропозиції.

5. Отримані результати дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації на споживання палива автомобілями, на основі яких істотно вдосконалено систему нормування та управління витратами енергії автомобілями в експлуатації, що успішно впроваджено у третій, принципово новій редакції нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті».

6. Методологічні підходи та результати вирішення комплексу проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку ДТЗ в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних ЗР, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Отримано принципово нові можливості і результати з системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ, які впроваджені, зокрема, у чинних нормативно-правових документах, на міжнародному рівні, а також прийняті до використання та подальшого практичного впровадження центральними органами виконавчої влади.

2. Вперше в Україні отримано можливості випробування ДТЗ та їх двигунів відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів (Правил ООН) в частині визначення викидів ЗР, які використовують підприємства автомобілебудівної промисловості.

3. Отримано принципово нові та унікальні можливості для проведення експериментальних та розрахункових досліджень ДТЗ та їх двигунів, моторних палив різних рецептур тощо. Забезпечено розвиток матеріально-технічної бази проведення наукових досліджень у галузі в частині екології та енергетики дорожнього транспорту.

4. Розроблено оригінальні пропозиції щодо концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів, прийняті до практичного впровадження Міністерством інфраструктури України (із розробленням проєктів нормативно-правових актів, що мають на меті їх практичну реалізацію).

5. Істотно вдосконалено систему нормування та управління витратами енергії автомобілями в експлуатації, що успішно впроваджено у третій,

принципово новій редакції нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті». Широкомасштабне застосування цього нормативного документу підприємствами в країні надало дійові інструменти для підвищення ефективності використання енергії та, опосередковано, забруднення атмосферного повітря ДТЗ.

6. Вирішено комплекс пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов'язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку ДТЗ в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних ЗР, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

Результати дисертаційної роботи отримали широке впровадження в: Мінінфраструктури, зокрема у нормативних документах «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті», «Порядок затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання», Рекомендаціях (висновках) технічної служби, ухвалених Комісією Міністерства інфраструктури України з питань забезпечення виконання Женевської Угоди 1958 року; Міндовкілля, зокрема, у Національних кадастрах антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів, обґрунтуванні цільових завдань другого національно визначеного внеску України за Паризькою кліматичною угодою; Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України у співробітництві з Міжнародним енергетичним агентством; Державною службою статистики України для покращення якості представлення динамічного ряду даних споживання моторних палив транспортом; на підприємствах автомобілебудівної промисловості при визначенні напрямів поліпшення показників двигунів і автомобілів, проведенні НДДКР зі створення нових зразків техніки та робіт з підтвердження її відповідності міжнародним стандартам.

В цілому, представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень, створені у роботі технології, методи, обладнання, та пропозиції щодо державного регулювання у визначеній сфері, а також впроваджені нормативно-правові акти, реалізують системне управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Ключові слова: автомобільний транспорт, дорожні транспортні засоби, ефективність використання енергії, забруднення атмосферного повітря, системне управління.

ABSTRACT

Klymenko Oleksii. System management to increase energy efficiency and reduce atmospheric air pollution by road vehicles. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for a scientific degree of the doctor of technical sciences on a speciality 05.22.20 "Operation and repair of means of transport". State Enterprise "State Road Transport Research Institute" ("DerzhavtotransNDIproekt"), National Transport University, Kyiv, 2021.

The dissertation research is devoted to developing theoretical basics, methods and technologies of system management to increase energy efficiency and reduce atmospheric air pollution by road vehicles. The results of theoretical and experimental research, and obtained in the work technologies, methods, equipment, and proposals for government regulation in particular areas, are aimed to solve a significant scientific and applied problem of system management to improve energy efficiency and reduce air pollution by road vehicles.

The relevance of the research is determined by the public need to create tools and develop systems measures to comprehensively address the problems of energy efficiency increase and air pollution reduction by road vehicles, respectively, reduce the energy dependence of the transport sector, improve air quality in cities, enforcement of Ukraine's compliance with international commitments in the field of climate change in terms of limiting and inventorying of greenhouse gas emissions by road transport.

The following tasks are solved in work:

1. The concept, the system that implements it, the mathematical apparatus, and the mathematical models of the system management of energy efficiency and air pollution by road vehicles, have been developed.

2. The optimal directions and limits of expedient management of energy efficiency and air pollution by road vehicles in Ukraine are determined.

3. The development of technologies, equipment and methods of experimental and computational studies of energy efficiency and specific emissions of pollutants by road vehicles is provided.

4. The basics of the progressive system of regulation of road vehicles essential environmental properties are developed.

5. Creation and comprehensive implementation of instruments to increase energy efficiency and decrease pollution of atmospheric air by road vehicles by improving the fuel rationing system and managing energy expenses in operation are provided.

6. A set of priority, dictated by international requirements, problematic tasks related to the need to reconstruct data on the structure and activity of the fleet of road vehicles in Ukraine, inventory of energy consumption, greenhouse gas emissions and toxic pollutants, and monitoring of air pollution air, are solves.

7. Recommendations for comprehensive further implementation and development of system approaches and technologies developed in work are developed, which provide system management to increase energy efficiency and reduce air pollution by road vehicles.

The scientific novelty of the obtained results are:

1. *For the first time* it is created the concept, system that implements it, mathematical apparatus and the mathematical models that provides system management of energy efficiency and air pollution of road vehicles, which allows to determine the optimal directions and limits of appropriate system management of energy efficiency and air pollution in Ukraine, obtain scientifically based forecasts of changes in the structure of fleet, consumption of various types of energy and CO_2 emissions by road transport in Ukraine until 2050, determine the levels of appropriate and optimal environmental requirements and energy efficiency

requirements of the road vehicles, and time frame for their implementation in Ukraine, evaluate the impact of incentives and different scenarios to increase the share of electric vehicles in the country's fleet of road vehicles on the total consolidated emissions of toxic substances into the atmospheric air, primary energy consumption, greenhouse gas emissions by 2050, to determine appropriate differentiated levels of requirements, implementation and follow-up low-emission zones (ecological zones) in cities for the foreseeable future.

2. *For the first time* in Ukraine the set of technologies, equipment, and patented methods of experimental and computational studies of energy efficiency and specific emissions of road vehicles is created, which provided opportunities for testing road vehicles and their engines in accordance with international technical regulations in this area as well as principally new opportunities to conduct research in various fields.

3. *For the first time* the bases of the system of regulation of essential ecological properties of road vehicles are developed, which include: proposals on formation of the state strategy of increase of efficiency of energy use by road transport and realization of the state policy in the field of marking and regulation of essential ecological properties of wheeled vehicles; the results of the study of consolidated emissions by road vehicles of different environmental classes "Euro" as a basis for marking the level of environmental hazard; the proposed unified system of marking the levels of ecological danger of road vehicles in terms of ingredient pollution and, accordingly, the levels of differentiated ecological zones in cities; reasonable levels of requirements for vehicles in ecological zones have been determined, which should be introduced in Ukraine; the results of a comprehensive study of the aggregate toxicity of road vehicles, including 64 types of pollutants, which is proposed as a basis for future regulation in the field of air protection.

4. *For the first time*, based on the tests conducted in the European driving cycle NEDC of a large representative sample of road vehicles previously developed and certified in accordance with the requirements of North American standards, that was

in use and imported into Ukraine from the US, the distribution characteristics of these products conformance with the environmental standards for individual standardized components and depending on the total mileage is obtained; it is proved the ineffectiveness of the declared OBD notification function on exceeding the established normative values of specific emissions, as well as the current standards of technical inspection in terms of instrumental control of environmental hazards of modern vehicles, which confirms the need to develop new approaches in this area.

5. The results of the study of the impact of traffic modes and climatic conditions of operation on fuel consumption by road vehicles, based on which it was significantly improved the system of rationing and management of energy consumption by vehicles in operation, which was successfully implemented on-road transport sector of the economy.

6. There are solved a set of priority, dictated by international requirements, problems related to the need to reconstruct data on the deployed structure and activity of the fleet of road vehicles in Ukraine, inventory of energy consumption, greenhouse gases and toxic pollutants emissions, and monitoring of air pollution.

The practical significance of the results:

1. The fundamentally new opportunities and results regarding the system management of energy efficiency and air pollution by road vehicles are obtained and implemented, in particular, in existing regulations, at the international level, as well as accepted for use and further practical implementation by central executive authorities.

2. For the first time in Ukraine, it is obtained possibility of testing road vehicles and their engines in accordance with the requirements of international technical regulations (UN Regulations) in terms of determining emissions of pollutants, that is used by the automotive industry.

3. There are obtained fundamentally new and unique opportunities for conducting experimental and computational studies of road vehicles and their

engines, motor fuels of various formulations, etc. The development of the technical base of scientific research in the field of ecology and energy of road transport is provided.

4. The original proposals for the concept of state policy in the field of labelling and regulation of essential environmental properties of wheeled vehicle are developed and adopted for practical implementation by the Ministry of Infrastructure of Ukraine (with the development of draft regulations aimed at their practical implementation).

5. It is significantly improved the system of rationing and management of energy consumption by road vehicles in operation, which has a comprehensive implementation in the third, fundamentally new edition of the normative document "Standards of fuel and lubricant consumption in road transport". Large-scale application of this normative document by enterprises in the country has provided effective tools for improving energy efficiency and, indirectly, air pollution by road vehicles.

5. There are solved a set of priority problems, dictated by the international requirements, and related to the inventory of energy consumption, greenhouse gases and toxic pollutants emissions, and air pollution monitoring in Ukraine.

The results of the dissertation are widely implemented in: the Ministry of Infrastructure, in particular in the regulations "Standards of fuel and lubricant consumption in road transport", "Procedure for approval of the design of vehicles, their parts and equipment", Recommendations (conclusions) of the technical service approved by the Commission of the Ministry of Infrastructure Ukraine on ensuring the implementation of the 1958 Geneva Agreement; the Ministry of Environment, in particular, in the National inventories of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases, substantiation of targets of the second nationally determined contribution of Ukraine under the Paris Climate Agreement; the State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine in cooperation with the International Energy Agency; the State Statistics Service of

Ukraine to improve the quality of presentation of a dynamic series of data on the consumption of motor fuels by transport; at the enterprises of the automobile industry at definition of directions of improvement of indicators of engines and cars, carrying out R&D on creation of new products, and its conformity to the international standards processing.

In general, the results of theoretical and experimental research, created in the work technologies, methods, equipment, and proposals for government regulation in particular areas, and implemented regulations, realise systematic management to improve energy efficiency and reduce air pollution by road vehicles.

Key words: road transport, road vehicles, energy efficiency, air pollution, system management.

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

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

У закордонних фахових виданнях, індексованих у Web of Science:

1. Alexey Klimenko (2020). Aggregated toxicity of road vehicles as basis for future regulation in the field of atmospheric air protection. SN Applied Sciences (2020) 2:2050 | https://doi.org/10.1007/s42452-020-03874-w (журнал видавництва Springer Nature, індексовано у Web of Science).

У фахових виданнях, індексованих у Scopus:

2. O. Klymenko (2020). Results of research of the reduced emissions of pollutants by road vehicles of various environmental classes “Euro” as the basis of environmental hazard labeling. Eastern-European journal of enterprise technologies, Issue 1/10(103) 2020, pages 42-52. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.196985 (журнал індексовано у Scopus).

3. O. Klymenko (2020). Dynamic variable volume sampling method for determining mass emissions of polluting substances with exhaust gases. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Issue 3/10(105) 2020, 38-47. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.206679 (журнал індексовано у Scopus).

4. O. Klymenko, V. Gorytski, U. Gutarevych, A. Shchelkunov, R. Kyrychenko (2020). Requirements for a unified system of road vehicles environmental labelling and low emission zones. Eastern-European journal of enterprise technologies, Issue 6/10(108), pp. 53–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217543 (журнал індексовано у Scopus). *Автором розроблено основні концептуальні положення, математичні моделі, виконано розрахунки, надано аналіз отриманих результатів, визначено напрями подальших досліджень.*

В іноземних фахових виданнях:

5. O. Klymenko, V. Ustymenko, K. Kolobov, S. Rychok, M. Gora, N. Naumenko. Analysis of Emissions in the European Driving Cycle of Used Light-Duty Vehicles Imported to Europe from North America. SAE International Journal of Sustainable Transportation, Energy, Environment, & Policy, Issue 1 (1), Pages 1-20, 2019, DOI: 10.4271/13-01-01-0001. *Автором розроблено основні вимоги до спрощеної системи підтвердження відповідності в Україні зазначених категорій автомобілів (методи випробувань і норми викидів), здійснено розрахунки, аналіз та візуалізацію отриманих результатів.*

6. Клименко Олексій. Окремі результати реконструкції даних щодо екологічної структури парку та викидів забруднювальних речовин автотранспортом в Україні в період 1990-2016 рр. SYSTEMY I ŚRODKI TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO – Monografia pod redakcją naukową KAZIMIERZALEJDY, Nr 19 – RZESZÓW 2019 – С. 17 – 24.

7. Redziuk, A., Klymenko, O., Ageiev, V., & Novikova, A. (2017). The concept and the development plan of national transport model of Ukraine. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2(1), 16-28. doi:10.14254/jsdtl.2017.2-1.2. *Автором розроблено основні концептуальні положення та план дій.*

8. Оцінка екологічних показників автомобілів при живленні бензином та зрідженим нафтовим газом (ЗНГ) в експлуатаційних умовах. Гутаревич Юрій, Клименко Олексій, Манько Іван // Systems and means of motor transport. Selected problems. Seria Transport. Rzeszow, 2012. С. 81-86. *Автором розроблено методику випробувань.*

9. Клименко А.А., Кудренко А.В. Результаты разработки частично-поточной системы с расширенным динамическим диапазоном для определения выбросов частиц современными двигателями // Журнал Автомобильных Инженеров №1(60) 2010. с. 12-16. *Автором розроблено*

концепцію та основні принципові технічні рішення щодо конструкції системи.

Монографії у співавторстві:

10. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Держ. автотр. наук.-досл. і проект. інст. / За заг. ред. А.М. Редзюка. - К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005.- // Впровадження міжнародних екологічних вимог до КТЗ в Україні / Редзюк А.М., Климпуш О.Д., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. // С.302-308 // Екологічні вимоги Правил ЄЕК ООН та Директив ЄС до КТЗ і двигунів / Редзюк А.М., Климпуш О.Д., Гутаревич Ю.Ф., Устименко В.С., Клименко О.А. С.286-302. *Автором розроблено матеріли до підрозділу 8.1 та підрозділи 8.2 і 8.3.*

11. М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, В.П. Волков, О.К. Грищук, М.П. Цюман, І.В. Грицук, Г.О. Вайганг, О.А. Клименко. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / Під редакцією Дмитриченка М.Ф. – Київ: Вид-во НТУ, 2016. – 213 с. *Автором розроблено матеріли до підрозділів 4.1 та 4.3.1.*

Статті у вітчизняних наукових фахових виданнях:

12. Клименко О.А. Щодо теоретико-методологічних основ системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням довкілля дорожнім транспортом // Автошляховик України, 2020, № 4 (С2-9).

13. Клименко О.А., Соцький В.С., Щелкунов А.В., Кириченко Р.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Гутаревич Ю.Ф. Щодо впровадження національної системи маркування рівня екологічної небезпеки дорожніх транспортних засобів. Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт) № 1 (261), 2020. (С. 2-11). *Автором розроблено основні концептуальні положення, виконано розрахунки, аналіз отриманих результатів.*

14. О.А.Клименко, В.С.Устименко, К.С.Колобов, С.О.Ричок, М.Д.Гора, Н.О.Науменко. Аналіз результатів досліджень викидів забруднювальних речовин легковими автомобілями, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США. «Автошляховик України», 2019, № 1 (257). - с. 2-11. *Автором розроблено основні вимоги до спрощеної системи підтвердження відповідності в Україні зазначених категорій автомобілів (методи випробувань і норми викидів), здійснено розрахунки, аналіз та візуалізацію отриманих результатів.*

15. Редзюк А.М., Клименко О.А. Щодо стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом. Автошляховик України, 2018, № 4(256), С. 2-11. *Автором розроблено основні концептуальні положення, виконано розрахунки та аналіз отриманих результатів.*

16. Клименко О.А., Тарабан С.М. Управління якістю атмосферного повітря за допомогою європейської системи THOR-AIR-PAS. Автошляховик України, № 3 (245), червень 2015. с. 2–4. *Автором розроблено основні концептуальні положення, здійснено реконструкцію розгорнутих вихідних даних та аналіз отриманих результатів моделювання в системі THOR-AIR-PAS.*

17. Говорун А.Г., Клименко О.А., Куций П.В. Результати дорожніх випробувань колісного транспортного засобу з універсальним регулятором частоти обертання колінчастого валу дизеля // Автошляховик України 2014, №6, С. 2-5. *Автором розроблено методику випробувань.*

18. Уведення екологічних норм Євро-3 - Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками. Редзюк А.М., Устименко В.С., Клименко О.А., Бондар О.В. «Автошляховик України», 2011, № 4. - с. 2-6, стаття. *Автором здійснено реконструкцію та аналіз вихідних даних.*

19. Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів. Редзюк А.М., Клименко О.А.,

Кудренко О.В. Автошляховик України, № 4, 2012. с. 2–7. *Автором розроблено основні концептуальні положення та здійснено аналіз.*

20. Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів. Клименко О.А., Редзюк А.М., Кудренко О.В., Ричок С.О., Гора М.Д. Автошляховик України.-2012.-№ 5.-С.2-8. *Автором розроблено концепцію та основні принципові технічні рішення щодо конструкції системи.*

21. Результати випробування автомобіля на роликовому моделюючому стенді за європейським їздовим циклом за роботи двигуна на штатному та сумішевих біодизельних паливах // Говорун А.Г., Клименко О.А., Павловський М.В. Автошляховик України: № 6, 2011, с. 3-6. *Автором розроблено методику випробувань.*

22. А.М.Редзюк, В.Б.Агеєв, В.С.Устименко, О.А.Клименко. Пропозиції щодо екологічної класифікації колісних транспортних засобів та її застосування. Автошляховик України, 2006, № 5. С. 3-8. *Автором здійснено аналіз, розроблено концепцію, норми викидів на окремі категорії автомобілів відповідних екологічних класів, що не охоплені законодавством ЄС.*

23. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Інтеграція України до ЄС у сфері захисту довкілля від шкідливих викидів автомобільного транспорту: задачі та перспективи. Автошляховик України, 2005, № 1. С. 3-7. *Автором здійснено аналіз та розроблено концепцію.*

24. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Створення випробувального центру визначення відповідності автомобільних транспортних засобів, двигунів і систем нейтралізації відпрацьованих газів екологічним вимогам державних і міжнародних стандартів. Етап перший. Автошляховик України, 2005, № 4. С. 23-24. *Автором здійснено аналіз та розроблено концепцію.*

25. Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Новий метод компенсації гістерезису в засобах вимірювальної техніки. Автошляховик України, збірник

наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми автомобільного транспорту», 2005р., С. 42-43. *Автором розроблено новий метод та алгоритми його практичної реалізації.*

26. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Створення випробувального центру визначення відповідності колісних транспортних засобів, двигунів і систем нейтралізації відпрацьованих газів екологічним вимогам державних і міжнародних стандартів. Автошляховик України, збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми автомобільного транспорту», 2005р., С. 9-11. *Автором здійснено аналіз та розроблено концепцію.*

27. Клименко О.А. Серія заміток “Відкриваємо Америку. Національний інститут стандартів і технологій США (NIST). Автошляховик України, 2004, № 4, С. 25.

28. Клименко О.А. Серія заміток “Відкриваємо Америку. Система підтвердження відповідності продукції: американська і європейська моделі. Порівняльний аналіз. Автошляховик України, 2004, № 4, С. 25.

29. Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Алгоритм компенсації гістерезису в системах вимірювання (на прикладі тракту вимірювання зусилля роликового стенду для випробувань автомобілів // Автошляховик України. Окр. вип. Збірн. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. «Управління безпекою на автомобільному транспорті».-2004.-С.125-126. *Автором розроблено новий метод та алгоритми його практичної реалізації.*

30. Устименко В.С., Клименко О.А., Чиж С.М. Автоматизація розрахунків та обліку експлуатаційних норм витрат палива на підприємствах // Автошляховик України. Окр. вип. Збірн. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. «Управління безпекою на автомобільному транспорті».-2004.-С.115. *Автором розроблено концепцію та основні вимого до автоматизації.*

31. Введення постійних норм витрат палива на автомобілі DAEWOO LANOS, NUBIRA, LEGANZA В.С.Устименко, О.А.Клименко. Автошляховик

України, 2003, №1, с.15-20. *Автором розроблено методику і програму проведення випробувань, здійснено аналіз отриманих даних, розроблено математичний апарат, здійснено математичне моделювання та розроблено норми.*

32. Редзюк А.М., Клименко О.А., Агеев В.Б., Новікова А.М. Щодо концепції національної транспортної моделі України. Автошляховик України. Окремий випуск. 2017.- № 1-2(249-250).- С.4-10. *Автором розроблено основні концептуальні положення.*

33. Говорун А.Г., Клименко О.А., Симоненко Р.В., Назаренко М.Б., Шиманський С.І. Особливості показників автомобільного двигуна у процесі роботи в несталих режимах на стисненому природному газі. Автошляховик України. Окремий випуск. 2017.- № 1-2(249-250).- С.41-44. *Автором розроблено методику випробувань.*

34. Нормирование потребления топлива автомобильним транспортом: современное состояние и перспективы. Рубцов В.А., Клименко А.А., Устименко В.С., Дегтярь З.А. Автошляховик України. Окремий випуск № 1. Жовтень 2000р. Збірник. Проблеми автомобільного транспорту. Стр. 44-46.

35. Комплексный анализ эффективности использования природного газа на автомобильном транспорте. Гутаревич Ю.Ф., Рубцов В.А., Устименко В.С., Клименко А.А. Автошляховик України. Окремий випуск № 1. Жовтень 2000р. Збірник. Проблеми автомобільного транспорту. Стр. 41-43. *Автором розроблено основні концептуальні положення, математичні моделі, здійснено розрахунки, аналіз отриманих результатів.*

36. Alexey Klimenko, Nikolas Hill, Elisabeth Windisch. Approaches to regulation of CO2 emission and energy consumption indicators of new light duty vehicles in Ukraine. Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник – К., 2019. – Випуск №1(43). С. 66-75. *Автором розроблено основні концептуальні положення, здійснено*

аналіз та викладено пропозиції щодо вирішення завдання в національних умовах.

37. Вплив типу системи живлення на паливно-економічні показники автомобіля при русі за європейським міським їздовим циклом. Славін В.В., Клименко О.А., Гора М.Д., Ричок С.О. Вісник Національного транспортного університету, - К.: НТУ, 2012. – Випуск 25, С. 248 – 251. *Автором розроблено методику випробувань.*

38. Манько І.В., Клименко О.А., Симоненко Р.В., Кудренко О.В. Вплив виду палива на його витрату при русі автомобіля за європейським міським їздовим циклом. Вісник Національного транспортного університету, - К.: НТУ, 2012. – Випуск 25, С. 259 – 262. *Автором розроблено методику випробувань.*

39. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Клименко О.А., Устименко В.С., До питання оптимізації структури енергозабезпечення автомобільного транспорту та деякі результати на прикладі визначення умов і сфер раціонального заміщення бензину стисненим природним газом. Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України. – К., 2002. – Випуск 6. С. 59-66. *Автором розроблено основні концептуальні положення, математичні моделі, здійснено розрахунки, аналіз отриманих результатів.*

40. Klymenko O. The concept of unified system of road vehicles environmental labelling // Автомобільний транспорт, вип. 47, 2020 (с69-83).

41. Klymenko O (2020). The concept for an implementation of state policy in the field of labeling and regulation of essential environmental properties of wheeled vehicles // Technology audit and production reserves. No. 5/2(55), 2020 (p33-37).

42. Клименко О.А., Кудренко О.В. Частково-потокова система з розширеним динамічним діапазоном для визначення викидів часток двигунами // Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний

журнал. №1 (62) 2010.- с.33-37. *Автором розроблено концепцію та основі технічні рішення щодо конструкції системи.*

43. Клименко О.А., к.т.н., Устименко В.С., Чиж С.М., Кудренко О.В., Сафронов А.М. Алгоритм компенсації гістерезиса в системах вимірювання. Журнал «Метрологія та прилади», 2006, № 2, с. 32-35. *Автором розроблено новий метод та алгоритми його практичної реалізації.*

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

44. Клименко О.А. Концепція системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням довкілля дорожніми транспортними засобами. IX Наукова конференція «Наукові підсумки 2020 року». Збірка наукових праць. – Харків, Х.: Технологічний Центр, 2020. – 70 с. e-ISBN 978-617-7319-29-9.

45. Клименко О.А. Концепція єдиної системи екологічного маркування дорожніх транспортних засобів: управління навколишнім середовищем та інноваціями на автомобільному транспорті. Наукове забезпечення розвитку автомобільного транспорту та його інтеграції до європейської транспортної системи: збірка матеріалів науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2020. – 96 с.

46. Клименко О.А. Концепція впровадження в Україні уніфікованої системи екологічного маркування дорожніх транспортних засобів та екологічних зон в містах // Матеріали XIII Миколаївських міських екологічних читань «Збережемо для нащадків», «Сучасні напрямки екологічного розвитку Миколаєва та інших населених пунктів України: традиції, інновації, перспективи», м. Миколаїв, 27 листопада 2020 р., 42-44 с.

47. Клименко О.А. Щодо запровадження в Україні системи маркування енергетичної ефективності та екологічного рівня дорожніх транспортних засобів. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту": збірник

наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. Вінниця: ВНТУ, 2019 р. С.97-99.

48. Клименко О.А. Напрями управління ефективністю використання енергії дорожніми транспортними засобами. IV Всеукраїнська науково-практична конференція "Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів", Миколаїв, 2018.

49. Редзюк А.М., Клименко О.А. Щодо стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом. Міжнародна науково-практична конференція «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту». Харків, 2018. С. 53-56.

50. Редзюк А.М., Клименко О.А. Впровадження технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами в Україні. Міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» Харків, 2017. С. 40-41.

51. Редзюк А.М., Клименко О.А., Тарабан С.М. Потенціал зменшення забруднення довкілля міст шляхом впровадження міжнародних стандартів і сучасних технологій у транспортній сфері. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка» (III Всеукраїнська науково-практична конференція "Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів"), 2017. с.45-49.

52. Редзюк А.М., Клименко О.А. Перспективи технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами в Україні. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка» (III Всеукраїнська науково-практична конференція "Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів"), 2017. с.42-45.

53. Редзюк А.М., Клименко О.А. Прогнози споживання палив і тенденції викидів забруднюючих речовин автомобільним транспортом України. Новітні

шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка» (Всеукраїнська науково-практична конференція "Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів"), 2016. с.35-38.

54. Агеєв В.Б., Редзюк А.М., Клименко О.А. Формування стратегії розвитку автомобільного транспорту в Україні в контексті угоди про асоціацію з Євросоюзом. Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка», 2016. с.48-50.

55. Редзюк А.М., Клименко О.А. Концепція розбудови центру обробки даних Національної транспортної моделі України. Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка» (Всеукраїнська науково-практична конференція "Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів"), 2016. с.25-28.

56. Редзюк А.М., Клименко О.А., Тарабан С.М. Розробка математичної моделі оцінки якості атмосферного повітря на базі європейської технології THOR-Air-PAS. Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка» (Всеукраїнська науково-практична конференція «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»), 2016. с.28-30.

57. Редзюк А.М., Клименко О.А. Стратегія розвитку вітчизняного автомобілебудування. Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. – Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка» (Всеукраїнська науково-практична конференція "Новітні шляхт створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів"), 2016. с.31-34.

58. Редзюк А.М., Агеєв В.Б, Клименко О.А., Створення в Україні науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій безпечного, екологічно сприятливого та енергоефективного автомобільного транспорту. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции по случаю Дня автомобилиста «Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля», посвященной 90-летию проф. Говорущенко Н.Я., 15-16 октября 2014 г. Харьков. С. 51-52.

59. Клименко О.А., Кудренко О.В. Метод відбору проб змінного об‘єму для визначення масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами колісними транспортними засобами при випробовуваннях у їздових циклах. Сборник тезисов Международной научно-практической конференции по случаю Дня автомобилиста «Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля», посвященной 90-летию проф. Говорущенко Н.Я., 2014 р.

60. Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Клименко О.А., Створення в Україні науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій безпечного, екологічно сприятливого та енергоефективного автомобільного транспорту як важливий елемент стратегії розвитку галузі Друковані матеріали восьмої науково-практичної конференції «Енергетична безпека на транспорті: підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу» 09-10 жовтня 2014 р. м. Київ. С102-110.

61. Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А., Духота О.О. Изменения в системе нормирования потребления моторных топлив на автомобильном транспорте Украины. Сьома міжнародна науково-практична конференція «Управління підвищенням енергоефективності на транспорті» 25-27 червня 2013, м. Одеса, – 48-53 стор.

62. Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А., Кудренко О.В. Щодо інноваційних технологій випробування центру енергоефективності

та екологічності колісних транспортних засобів // Збірник матеріалів V міжнародної конференції “Енергетична безпека та енергоменеджмент: підвищення енергоефективності на транспорті”. Одеса, 2010. – с. 97-103.

63. Про перспективні напрями підвищення енергоефективності та екологічності колісних транспортних засобів // Агеєв В.Б., Устименко В.С., Закревський О.І., Клименко О.А. Збірник матеріалів V міжнародної конференції “Енергетична безпека та енергоменеджмент: підвищення енергоефективності на транспорті”. Одеса, 2010. – с. 93-96.

64. Щодо споживання палива автомобілями в умовах мегаполісів // Редзюк А.М., Клименко О.А., Духота О.О., Колобов К.С., Мироненко Ю.В. // 4-та міжнародна науково-практична конференція «Енергетична безпека та енергозбереження на транспорті: технології та інвестиції», м. Одеса, 10 – 12 червня 2009 року.

65. Інноваційні напрями енергозбереження та зменшення негативного впливу автомобільного транспорту України на довкілля // Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А., Закревський О.І // Матеріали семінару щодо виробництва і використання біопалив за програмою «Партнерство з фахівцями і менеджерами з країн, що розвиваються і країн з перехідною економікою», Федеративна Республіка Німеччина, м. Кемнитц 14-21.09.2008 р.

66. Щодо створення національного випробувального центру енергоефективності та екологічності колісних транспортних засобів Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Клименко О.А. Збірник 3-й науково-практичної конференції «Энергосбережение на транспорте и в промышленности, инновационные решения» м. Одеса, 9-10 червня 2008 р. с. 60-67.

67. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Створення випробувального центру визначення відповідності колісних транспортних засобів, двигунів і систем нейтралізації відпрацьованих газів екологічним вимогам державних і міжнародних стандартів. Автошляховик

України, збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми автомобільного транспорту”, 2005р., С. 9-11.

68. Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Новий метод компенсації гістерезису в засобах вимірювальної техніки. Автошляховик України, збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми автомобільного транспорту”, 2005р., С. 42-43.

69. Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Алгоритм компенсації гістерезису в системах вимірювання (на прикладі тракту вимірювання зусилля роликового стенду для випробувань автомобілів // Автошляховик України. Окр. вип. Збірн. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. «Управління безпекою на автомобільному транспорті».-2004.-С.125-126.

70. Устименко В.С., Клименко О.А., Чиж С.М. Автоматизація розрахунків та обліку експлуатаційних норм витрат палива на підприємствах // Автошляховик України. Окр. вип. Збірн. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. «Управління безпекою на автомобільному транспорті».-2004.-С.115.

71. Перспективы применения биотоплив для автотранспорта Украины. Результаты исследований экологических и экономических показателей АТС и ДВС на смесевых бензинах с оксигенатами // Ю.Ф.Гутаревич, В.С.Устименко, О.А.Бейко, О.А.Клименко, А.А.Корпач // Материалы конференции ААИ (Дмитров, Россия), 2003, Вип.10, с.67-72.

72. Нормирование потребления топлива автомобильным транспортом: современное состояние и перспективы. В.С.Устименко, О.А.Клименко, З.О.Дегтяр. Материалы конференции ААИ (Дмитров, Россия), 2003, Вип.10, с.49-54.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

73. Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Бондар О.В., Мироненко Ю.В. Результати дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива

автомобілями // Збірник Транспортної академії України, №13, 2010. с. 50-55. *Автором розроблено методику і програму випробувань, здійснено аналіз отриманих результатів, розроблено пропозиції щодо їх впровадження.*

74. Редзюк А.М. , Агеєв В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Мироненко Ю.В., Бондар О.В. Удосконалення системи нормування витрат палива та мастильних матеріалів на автомобільному транспорті // Збірник Транспортної академії України, №13, 2010. с. 55-58. *Автором розроблено концептуальні положення, методику і програму випробувань, здійснено аналіз отриманих результатів, розроблено пропозиції щодо їх впровадження.*

75. Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Кудренко О.В. Розроблення сучасної вітчизняної частково-потокової системи з розширеним динамічним діапазоном для визначення масових викидів частинок двигунами // Збірник Транспортної академії України, №13, 2010. с. 46-50. *Автором розроблено концепцію та основі технічні рішення щодо конструкції системи.*

76. Вплив високооктанової кисневмісної добавки до бензину на паливну економічність та екологічні показники автомобілів // А.М.Редзюк, В.С.Устименко, Ю.Ф.Гутаревич, О.А.Клименко // Автошляховик України, Окремий випуск №6, Вісник північного наукового центру, 2003, С. 34-35. *Автором здійснено розрахунки показників автомобілів в їздових циклах на математичних моделях.*

77. Гутаревич Ю.Ф., Редзюк А.М., Устименко В.С., Ковальов С.О., Клименко О.А. Природний газ: механізм розширення використання на автомобільному транспорті. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України випуск 4 Травень 2001 р. стр. 9-11. *Автором розроблено основні концептуальні положення, математичні моделі, здійснено розрахунки, аналіз отриманих результатів.*

78. Паливна економічність легкових автомобілів: порівняння показників, визначених у відповідності з різноманітними процедурами випробувань. Гутаревич Ю.Ф., Симоненко Р.В., Клименко О.А. // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Збірник наукових праць. Український транспортний університет. Випуск 7. 1999. Київ, С. 77-80. *Автором здійснено аналіз та розроблено пропозиції до вирішення проблеми.*

79. Редзюк А.М., Клименко О.А., Агеев В.Б., Новікова А.М. Щодо концепції національної транспортної моделі України // Перевізник UA.- 2017.- № 8.- С.20-25. *Автором розроблено основні концептуальні положення.*

80. Створення Національного науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій автомобільного транспорту – презентаційний матеріал ДП «ДержавтотрансНДІпроект» / Перевізник UA, 2016 р. № 12 с.18-21., № 13, с.18-21. *Автором розроблено презентаційний матеріал, в якому окреслено отримані ДП «ДержавтотрансНДІпроект» результати та перспективні напрями подальшого розвитку .*

81. Редзюк А.М., Агеев В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Мироненко Ю.В., Бондар О.В. Удосконалення системи нормування витрат палива та мастильних матеріалів на автомобільному транспорті // Перевізник UA.- 2010.- № 5.- С.26-27. *Автором розроблено концептуальні положення, методику і програму випробувань, здійснено аналіз отриманих результатів, розроблено пропозиції щодо їх впровадження..*

82. Редзюк А.М., Агеев В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Бондар О.В., Мироненко Ю.В. Результати дослідження впливу режимів руху та кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями // Перевізник UA.- 2010.- № 3-4.- С.20-24. *Автором розроблено методику і програму випробувань, здійснено аналіз отриманих результатів, розроблено пропозиції щодо їх впровадження.*

Патенти на винаходи:

83. «Спосіб визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на винахід № 120491. Патент опубліковано 10.12.2019, бюлетень № 23/2019.

84. «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потокових системах визначення викидів частинок з автокалібруванням за складом відпрацьованих газів». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на винахід № 120492. Патент опубліковано 10.12.2019, бюлетень № 23/2019».

85. «Спосіб частково-потокового визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів з вимірюванням фактичного коефіцієнта розділення потоку». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на винахід № 120905. Патент опубліковано 25.02.2020, бюлетень № 4/2020.

86. «Спосіб підготовки проби частинок, відібраних з газового середовища, для електронної мікроскопії». Редзюк А.М., Дмитриченко М.Ф., Гутаревич Ю.Ф., Клименко О.А., Агеєв В.Б., Устименко В.С. Патент на винахід № 122308. Зареєстровано 12.10.2020.

Патенти на корисні моделі:

87. «Спосіб повнопотокового відбору проб змінного об’єму для визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів колісних транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С., Гора М.Д., Ричок С.О., Сіянко Ю.В. Патент на корисну модель № 135775. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

88. «Спосіб повнопотокового відбору проб змінного об’єму з вимірюванням дійсного коефіцієнту розбавлення для визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів колісних транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135777. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

89. «Спосіб повно-потокового відбору проб змінного об’єму з динамічним автокалібруванням та вимірюванням дійсного коефіцієнта розбавлення для визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів колісних транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135778. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

90. «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів транспортних засобів в частково-потокових системах визначення викидів частинок». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135786. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

91. «Спосіб частково-потокового визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135788. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

92. «Спосіб частково-потокового визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів транспортних засобів з вимірюванням фактичного коефіцієнту розділення потоку». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на корисну модель № 135789. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

93. «Система необмеженого розподілу проб відпрацьованих газів у часі забезпеченням одночасного виконання операцій відбору проб в еластичні ємності, проведення їх газового аналізу, вакуумуванням та продувки ємностей». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С., Гора М.Д., Бондар О.В., Колобов К.С. Патент на корисну модель № 136768. Бюлетень № 16 від 27.08.2019.

94. «Спосіб відбору та підготовки проби частинок з газового середовища для електронної мікроскопії». Редзюк А.М., Дмитриченко М.Ф., Гутаревич Ю.Ф., Клименко О.А., Агеєв В.Б., Устименко В.С. Патент на корисну модель № 136787. Бюлетень № 16 від 27.08.2019.

95. «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потокових системах визначення викидів частинок з автокалібруванням за складом відпрацьованих газів». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на корисну модель № 136772. Бюлетень № 16 від 27.08.2019.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць вимірювання, скорочень 43

Вступ …… 44

Розділ 1. Аналіз напрямів управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами …… 59

1.1. Світовий парк дорожніх транспортних засобів …….. 59

1.2. Споживання енергії дорожнім транспортом …… 67

1.3. Викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря дорожнім транспортом та стан забруднення атмосферного повітря в містах України …….. 71

1.4. Оцінки макроекономічних витрат, пов‘язаних з забрудненням атмосферного повітря автомобільним транспортом та іншими видами негативного впливу на навколишнє середовище …….. 72

1.5. Оцінки резервів зменшення питомого споживання енергії автомобільним транспортом …… 73

1.6. Оцінки потенціалу зменшення питомих викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря автомобільним транспортом …….. 74

1.7. Окремі питання оцінки в життєвому циклі …… 79

1.8. Поточний стан державного управління в Україні підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами …… 83

1.9. Огляд напрямів управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами …… 85

1.9.1. Технічне регулювання …… 86

1.9.2. Фіскальне регулювання ……. 93

1.9.3. Екологічне маркування та диференційований доступ до інфраструктури …….. 93

1.9.4. Регулювання імпорту ДТЗ, що були у використанні …… 93

1.9.5. Управління в процесі експлуатації транспортного засобу ….. 95

1.9.6. Управління на етапі утилізації транспортного засобу ……. 97

1.10. Огляд окремих, найбільш істотних проблем, що потребують вирішення для впровадження ефективного державного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами ……. 99

1.10.1. «Поза-циклові» викиди ……. 99

1.10.2. Несумісність стандартів та вимог різних ринків …… 105

1.10.3. Протиріччя різних вимог до конструкції транспортних засобів ……. 105

1.11. Висновки до розділу 1 …….. 107

1.12. Мета і завдання дослідження …….. 112

Розділ 2. Концепція та математичні моделі системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами …….. 114

2.1. Огляд підходів до системного управління у визначеній сфері ….. 114

2.2. Концепція системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами …….. 120

2.3. Система управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами ……. 131

2.4. Завдання математичних моделей системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами ……. 147

2.5. Розроблення математичних моделей та засобів їх практичної реалізації для системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами …….. 149

2.6. Перевірка адекватності математичних моделей ……. 165

2.7. Висновки до розділу 2 …… 168

Розділ 3. Визначення оптимальних напрямів, пріоритетів і меж доцільного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні …… 169

3.1. Опис макроекономічних сценаріїв та варіантів управління, за якими виконано математичне моделювання розвитку та зміни структури парку, споживання енергії та викидів забруднювальних речовин …… 169

3.2. Базовий макроекономічний сценарій № 1(1) за умов поточного варіанту управління …….. 172

3.3. Оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) за умов поточного варіанту управління …… 197

3.4. Сценарій економічної стагнації в умовах поточного варіанту управління (сценарій №3(1)) …… 197

3.5. Сценарій жорсткого технічного і фіскального регулювання енергетичної ефективності ДТЗ, що потрапляють на ринок України, за базовим макроекономічним сценарієм (сценарій 1(2) до 2050 р.) … 203

3.6. Сценарій інтенсивного розвитку електромобілів за базовим макроекономічним сценарієм (сценарій 1(3) до 2050 р.) …….. 209

3.7. Сценарій, що передбачає поєднання впровадження жорстких норм енергоефективності стимулюванням інтенсивного розвитку електромобілів (сценарій 1(4) до 2050 р.) …….. 215

3.8. Гіпотетичний сценарій створення умов для масового розвитку збільшення споживання СПГ вантажними автомобілями та автобусами ……. 215

3.9. Сценарій, що передбачає впровадження з 2023 р. мінімальних екологічних вимог для автомобілів, що були в користуванні, з дизелями – норм «Євро-5», та з бензиновими двигунами – норм «Євро-4» (сценарій 1(5) до 2050 р.) ……. 217

3.10. Аналіз отриманих результатів моделювання …….. 220

3.11. Рекомендації щодо напрямів подальших досліджень ……. 229

3.12. Висновки до розділу 3 …… 230

Розділ 4. Розвиток технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами …….. 238

4.1. Стандарти і технічні регламенти у сфері методів визначення та унормування ефективності використання енергії та викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами …… 238

4.2. Проект створення в Україні на базі ДП «ДержавтотрансНДІпроект» національного науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій безпечного,

екологічно сприятливого та енергоефективного автомобільного транспорту відповідно до міжнародних технічних регламентів …….. 239

4.3. Розроблена універсальна система аналізу емісії частинок моделі «МТ-010» з мікротунелем у складі ……. 239

4.4. Розроблена універсальна система відбору проб постійного об'єму для визначення масових викидів забруднюючих речовин (система CVS моделі «EMMS-CVS-010») із повно-потоковим тунелем ……. 247

4.5. Розроблена перспективна технологія та система визначення масових викидів транспортних засобів з низьким рівнем емісії, якій надано назву «Variable Volume Sampling System» ……. 264

4.6. Розроблена технологія для визначення масових викидів забруднювальних речовин безпосередньо на борту транспортного засобу в умовах реальної експлуатації …… 265

4.7. Розроблена технологія визначення кількості, розподілу за розмірами та хімічного складу канцерогенних нано-частинок у складі відпрацьованих газів двигунів та у продуктах зносу шин і гальм транспортних засобів ……. 266

4.8. Розроблений програмно-апаратний комплекс «Vehicle Performance Analysis System», що є єдиною платформою для проведення випробувань транспортних засобів і двигунів, та поєднує в одній системі експериментальні та віртуальні (математичне моделювання) методи досліджень …….. 270

4.9. Розроблене програмне забезпечення «Data-Model Processing System» …….. 277

4.10. Розроблена мікропроцесорна система керування моторним стендом для випробування двигунів …… 279

4.11. Розроблена мікропроцесорна система керування роликовим стендом для випробовування транспортних засобів ……. 281

4.12. Розроблена технологія цифрової компенсації явища гістерезису в засобах вимірювальної техніки, що дозволяє суттєво зменшити негативний вплив явища гістерезису при вимірюванні фізичних величин …… 284

4.13. Розроблена технологія та обладнання для поглибленого дослідження в відтворюваних умовах реакції холодно-полум‘яного окиснення моторних палив …….. 289

4.14. Розроблений автоматизований багатофункціональний мобільний паливний модуль для порівняльних досліджень різних видів та рецептур моторних палив …….. 295

4.15. Розроблена універсальна багатоканальна система збору та обробляння даних вимірювань для автоматизації проведення стендових та дорожніх випробувань зразків техніки …… 296

4.16. Загальний опис комплексу високотехнологічного випробувального, вимірювального та аналітичного обладнання від провідних світових виробників, що було інтегровано у склад випробувальної лабораторії разом з обладнанням власної розробки, як цілісний комплекс, зі створенням відповідної інженерної та інформаційної інфраструктури …… 298

4.17. Досвід використання створеного та впровадженого комплексу обладнання і технологій для випробовування і дослідження дорожніх транспортних засобів та двигунів …… 303

4.18. Рекомендації щодо напрямів подальших робіт ……. 310

4.19. Висновки до розділу 4 ……. 312

Розділ 5. Система показників, методи визначення, маркування ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами та їх екологічного рівня …….. 313

5.1. Пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом ……. 313

5.2. Підходи до регулювання показників викидів CO_2 та енергоспоживання нових легкових автомобілів у світі та в Україні…. 329

5.3. Пропозиції щодо концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів …… 329

5.4. Результати дослідження зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки …… 329

5.5. Визначення обґрунтованих рівнів вимог до транспортних засобів в екологічних зонах ……. 359

5.6. Агрегована токсичність дорожніх транспортних засобів як основа для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря …. 367

5.7. Викиди забруднювальних речовин легковими автомобілями, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США …… 382

5.8. Рекомендації щодо напрямів подальших досліджень …….. 383

5.9. Висновки до розділу 5 ……. 384

Розділ 6. Підвищення ефективності використання енергії та забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в експлуатації 388

6.1. Дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями … 388

6.2. Впроваджені пропозиції щодо вдосконалення системи нормування експлуатаційної витрати енергії автомобільним транспортом, що увійшли у третю редакцію «Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорту» …….. 411

6.3. Впроваджені пропозиції щодо системи нормування витрати енергії електромобілями в експлуатації ……. 411

6.4. Пропозиції щодо запровадження компаративної системи контролю питомого споживання енергії дорожніми транспортними засобами в експлуатації ……. 412

6.5. Висновки до розділу 6 …… 414

Розділ 7. Інвентаризація споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднюючих речовин та моніторинг стану забруднення атмосферного повітря ……. 416

7.1. Відтворення вихідних даних щодо структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, необхідних для розрахунку споживання енергії та викидів забруднювальних речовин автомобільним транспортом ……. 416

7.2. Інвентаризація споживання енергетичних ресурсів автомобільним транспортом, викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин …… 419

7.3. Відтворення даних щодо структури та середніх національних значень вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку України в період 1990-2014 рр. …… 419

7.4. Прогнозування стану атмосферного повітря на основі моделювання з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля міста залежно від основних факторів впливу та здійснення оцінки екологічної ефективності заходів і проектів з покращення якості повітря ……. 421

7.5. Висновки до розділу 7 ……. 433

Загальні висновки, впровадження результатів дослідження та напрями подальших робіт ……..……. 436

Список використаних джерел ……. 448

Додаток А.1 ……..……. 508

Додаток А.2 ……..……. 535

Додаток А.3. ……..…… 565

Додаток А.4. ……..…… 568

Додаток А.5 ……..……. 574

Додаток А.6 ……..……. 580

Додаток А.7 ……..……. 593

Додаток А.8 ……..……. 597

Додаток А.9 ……..……. 601

Додаток А.10 ……..……... 606

Додаток А.11 ……..…….. 620

Додаток А.12 ……..…….. 645

Додаток А.13 ……..…….. 666

Додаток А.14 ……..…….. 678

Додаток А.15 ……..…….. 693

Додаток А.16 ……..…….. 697

Додаток Б. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації …… 705

Додаток В. Акти впровадження …….. 724

Додаток Г. Патенти …….. 745

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ

ДТЗ – дорожній транспортний засіб

LCV – легкий комерційний транспорт (Light Commercial Vehicle)

LDV – легкі транспорті засоби (Light Duty Vehicle)

HDV – важкий комерційний транспорт (Heavy Duty Vehicle)

PC – легкові автомобілі (Passenger Cars)

EV – електромобіль (Electrical Vehicle)

ВВП – внутрішній валовий продукт

ВГ – відпрацьовані гази

CO_2 – діоксид вуглецю

CO – оксид вуглецю

NO_x – оксиди азоту

T.HC – сумарні вуглеводні (Total Hydrocarbons)

NMHC – неметанова частина вуглеводнів (Non-Methane Hydrocarbons)

PM – частинки (Particulate Matter)

ВСТУП

Актуальність теми

Згідно з положеннями Угоди про асоціацію [1], укладеної між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони (далі – Угода про асоціацію), Україна зобов'язалась удосконалювати та розвивати державну політику у сфері регулювання викидів вуглекислого газу та споживання енергії у сфері автомобільного транспорту. Положення законодавства ЄС щодо енергетичної ефективності автомобільного транспорту мають бути відображені в законодавстві України протягом 5 років та впроваджені протягом 8 років з дати набрання чинності Угодою про асоціацію.

Положення [1] також передбачають у цій сфері: «дотримання глобальної відповідальності та зобов’язань у таких сферах, як захист навколишнього середовища, зокрема, зміна клімату, та інших глобальних викликів; зазначення маркування та стандартної інформації щодо споживання енергії та інших ресурсів, пов‘язаних з енергетичними продуктами, зокрема, з метою стимулювання впровадження енергоефективних транспортних засобів, їх складових, та технологій економічного використання; розвитку стабільних транспортних систем та здійснення ефективних і безпечних транспортних перевезень, оновлення транспортного сектору України і поступової гармонізації діючих стандартів та національної транспортної політики з існуючими в ЄС; розвитку галузевих стратегій на основі національної транспортної політики, зокрема нормативних вимог щодо модернізації технічного обладнання і транспортних парків для дотримання найвищих міжнародних стандартів щодо автомобільного транспорту».

Угода про асоціацію передбачає наближення законодавства України до права та політики ЄС у сфері охорони навколишнього природного середовища з приділенням особливої уваги питанням, що, зокрема, мають транскордонний

характер, в частині: «управління довкіллям та інтеграції екологічної політики у політику транспортної галузі; сприяння досягнення довгострокових цілей, що стосуються сталого розвитку, зеленої економіки, зміни клімату; скорочення викидів парникових газів автомобільним транспортом; підвищення енергетичної ефективності автомобільного транспорту; підвищення якості атмосферного повітря; вдосконалення систем екологічного управління відповідно до європейських принципів» [1].

Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [2] встановлено, зокрема, що значення викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел, умовно приведених до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, не повинні перевищувати у 2025 і 2030 роках відповідно 85%, і 70% від базового рівня, визначеного станом на 2015 рік.

Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року [3] планується досягнути, зокрема, таких результатів: «зменшення обсягу викидів парникових газів в атмосферне повітря від пересувних джерел до 60 відсотків від рівня 1990 року; зменшення сумарного обсягу викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин від пересувних джерел, умовно приведеного до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, до 70 відсотків від рівня 2015 року».

Дорожній транспорт є домінантним забруднювачем довкілля в місцях масового зосередження людей, що зумовлює небезпечні концентрації токсичних речовин в атмосферному повітрі, яким безпосередньо дихають люди, та здійснює інші види техногенного тиску на навколишнє природне середовище і людину, що завдають значної та непоправної шкоди здоров’ю нації. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища щорічна смертність людей від забруднення повітря тільки зваженими частинками у сім разів перевищує смертність від дорожньо-транспортних

пригод [5]. Автомобілі з дизелями є емітентом особливо небезпечної різновидності зважених частинок у складі яких абсорбовано та адсорбовано багато канцерогенів, що утворюються в камерах згоряння двигунів. За даними Світової організації охорони здоров‘я, Україна посідає останніми роками перші місця у світі за рівнем смертності на душу населення, спричиненої забрудненням атмосферного повітря [6].

Крім зважених частинок, а також оксидів азоту, оксиду вуглецю та летких неметанових органічних сполук, діоксиду сірки, у складі відпрацьованих газів автомобільних двигунів та продуктів зношування пневматичних шин, гальм, інших деталей та вузлів автомобілів, налічують сотні інших шкідливих речовин, зокрема, альдегідів, кетонів, дуже небезпечних видів ароматичних вуглеводнів та надзвичайно шкідливих поліциклічних ароматичних вуглеводнів, а також різноманітних металів та їх з’єднань. Наприклад, широко відомий громадськості бенз(альфа)пірен є лише одним з численного ряду інших менш вивчених наукою канцерогенів у складі відпрацьованих газів автомобільних двигунів, що цілодобово вдихають мешканці міст.

Найбільш страждають від забруднення довкілля автомобільним транспортом найменш захищені верстви населення – діти та люді похилого віку.

Макроекономічні збитки від забруднення довкілля в ЄС оцінюють в межах 427 - 790 мільярдів євро на рік [7], в яких транспорт відіграє визначальну роль. Збитки, зумовлені акустичним шумом на дорогах і заторами коштують економіці ЄС близько 36 євро та 100 мільярдів євро відповідно [8].

За оцінкою Організації економічного співробітництва і розвитку, щорічні економічні збитки від забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом у східно- і центральноєвропейських країнах становлять близько 3…4 % від ВВП [4]. Щорічні макроекономічні збитки від забруднення

довкілля автотранспортом в Україні оцінюють орієнтовно в еквіваленті 2…3 млрд. євро за самими помірними оцінками [9].

В Україні, на відміну від країн-членів ЄС, останніми роками спостерігаються негативні тенденції збільшення техногенного навантаження дорожнього транспорту на довкілля міст. Ця проблема потребує комплексного розв’язання.

Другою проблемою, яка потребує розв’язання, є те, що дорожній транспорт є найбільшим споживачем моторних палив, які переважно імпортуються в Україну. Це є важливим (критичним) елементом енергетичної залежності України.

Третьою проблемою є те, що дорожній транспорт швидко перетворюється на найбільш складний сектор економіки з точки зору виконання міжнародних зобов’язань України у сфері зміни клімату. Близько 3/4 сумарних викидів парникових газів $CO_{2\ (екв.)}$ на території України серед всіх видів транспорту продукують саме автомобілі.

Дорожній транспорт в оглядовій перспективі має передумови для суттєвого збільшення викидів парникових газів в Україні та зростання його відносної частки у викидах у порівнянні з іншими секторами економіки з огляду на процеси деіндустріалізації та потенційну ємність ринку приватних легкових автомобілів з врахуванням прогнозованого збільшення рівня автомобілізації, за яким Україна ще істотно відстає від багатьох країн світу. Це створює, зокрема, загрозу невиконання Україною міжнародних зобов’язань у сфері зміни клімату.

Зміна клімату, окрім створення загроз руйнування дорожньої та іншої інфраструктури, та/або збільшення витрат на її утримання, несе також інші потенційні загрози. Зокрема, вплив зміни клімату в містах поєднується з несприятливим впливом на здоров'я населення забрудненого атмосферного повітря, що зумовлене в першу чергу викидами автомобільного транспорту.

Як наслідок, без завчасного впровадження комплексу заходів із адаптації до зміни клімату на національному та регіональних рівнях можна спрогнозувати подальше збільшення пов‘язаних людських втрат та багатомільярдних макроекономічних збитків суспільства.

Наведене вище також було частково викладено автором в «Аналітичній довідці щодо тенденцій в період 1990 – 2016 рр. та прогнозів екологічної структури парку, споживання палив і викидів забруднювальних речовин автотранспортом в Україні, а також забруднення повітря у м. Києві», підготовленої у 2017 р. від ДП «ДержавтотрансНДІпроект» на запит Верховної Ради України.

Передбачене за обраним напрямом дослідження розроблення теоретичних засад, методів і технологій системного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами, з огляду на заходи, що можуть бути реалізовані Україною у практичній площині, є невід'ємною складовою вирішення завдань: зменшення негативних соціальних і макроекономічних наслідків забруднення автомобільним транспортом атмосферного повітря; підвищення національної енергетичної безпеки; забезпечення підвищення ефективності транспортної галузі та, в цілому, конкурентоспроможності економіки; наукового обґрунтування встановлення та подальшого забезпечення виконання міжнародних зобов‘язань України у сфері зміни клімату.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає законодавчо визначеним стратегічним пріоритетним напрямам інноваційної діяльності та пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки. Дисертаційне дослідження виконувалось відповідно до планів двадцяти науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (перелік надано у додатку Б), науковим керівником та відповідальним виконавцем яких був безпосередньо автор, у

тому числі за замовленнями центральних органів виконавчої влади, яким передавалися отримані результати.

Об'єкт дослідження – споживання енергії та забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Предмет дослідження – розроблення теоретичних засад, методів і технологій системного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами шляхом системного управління.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі пов'язані завдання:

1. Розроблення концепції, системи, що її реалізує, та математичного апарату системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

2. Визначення оптимальних напрямів і меж доцільного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні.

3. Розвиток технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами.

4. Розроблення основ прогресивної системи регулювання істотних екологічних властивостей дорожніх транспортних засобами разом із системою показників ефективності використання енергії та рівня екологічної небезпеки.

5. Підвищення ефективності використання енергії та забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами вдосконаленням системи нормування та управління витратами енергії в експлуатації.

6. Вирішення комплексу пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

7. Розроблення рекомендацій щодо комплексного подальшого впровадження та розвитку розроблених у роботі системних підходів і технологій, що забезпечують системне управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Основні методи дослідження: методи системного аналізу та методи математичного моделювання в частині розроблення концепції, системи, що її реалізує, та математичного апарату системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами, а також розроблення засад прогресивної системи регулювання істотних екологічних властивостей дорожніх транспортних засобами разом із системою показників ефективності використання енергії та рівня екологічної небезпеки, розвитку технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами, вдосконалення системи нормування та управління витратами енергії в експлуатації, реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин, та моніторингом стану забруднення

атмосферного повітря, із забезпеченням достовірності отриманих результатів і висновків порівнянням результатів математичного моделювання в ретроспективі з наявними даними спостережень використовуючи аналіз часових рядів, та прогнозних даних з наявними оцінками (прогнозами), отриманими в інших незалежних дослідженнях, порівнянням результатів математичного моделювання з даними вимірювань конкретних технічних об'єктів і систем, що досліджувалися, експериментальні дослідження в частині визначення питомих викидів забруднювальних речовин і витрат моторних палив в стандартизованих умовах (лабораторні випробування) та в реальних умовах експлуатації (дорожні випробування) з визначенням впливу цих умов тощо.

Наукову новизну отриманих результатів складають:

1. *Вперше* створена концепція, система, що її реалізує, та математичний апарат, що забезпечують системне управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ, що дозволяє визначити оптимальні напрями і межі доцільного системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ в Україні, отримати науково обґрунтовані прогнози зміни структури парку ДТЗ, споживання різних видів енергії та викидів CO2 дорожнім транспортом в Україні на період до 2050 р., визначити рівні доцільних та оптимальних екологічних вимог і вимог до енергоефективності конструкції ДТЗ, та часових рамок їх впровадження в Україні, оцінити вплив заходів із стимулювання та різних сценаріїв збільшення частки електромобілів у парку ДТЗ країни на сукупні зведені викиди токсичних речовин у повітря, споживання первинної енергії, викиди парникових газів на період до 2050 р., визначити доцільні диференційовані рівні вимог, терміни впровадження та наступної дії зон низької емісії (екологічних зон) в містах на оглядову перспективу.

2. *Вперше* в Україні створений комплекс технологій, обладнання і запатентованих методів експериментальних та розрахункових досліджень

ефективності використання енергії та питомих викидів ЗР ДТЗ, що надав можливості з проведення випробувань ДТЗ та їх двигунів відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів у цій сфері, та принципово нові можливості з проведення наукових досліджень в різних сферах.

3. *Вперше* розроблені основи системи регулювання істотних екологічних властивостей ДТЗ, які включають: пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом та реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів; результати дослідження зведених викидів ЗР автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки; запропоновану уніфіковану систему маркування рівнів екологічної небезпеки ДТЗ в частині інгредієнтного забруднення та, відповідно, рівнів диференційованих екологічних зон в містах; визначені обґрунтовані рівні вимог до транспортних засобів в екологічних зонах, що є доцільним запроваджувати в Україні; отримані результати комплексного дослідження агрегованої токсичності ДТЗ, що включає 64 види ЗР, що запропоновано як основу для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря.

4. *Вперше*, на основі проведених випробувань в європейському їздовому циклі NEDC великої репрезентативної вибірки автомобілів, розроблених і сертифікованих раніше відповідно до вимог північно-американських стандартів, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, отримано характеристики розподілу цієї продукції щодо відповідності вимогам екологічних стандартів за окремими нормованими компонентами та залежно від загального пробігу; доведено неефективність задекларованої функції повідомлення OBD про перевищення встановлених нормативних значень питомих викидів, а також чинних стандартів технічного огляду в частині інструментального контролю екологічної небезпеки сучасних ДТЗ, що

підтверджує необхідність розроблення нових підходів у цій сфері, до яких надано пропозиції.

5. Отримані результати дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації на споживання палива автомобілями, на основі яких істотно вдосконалено систему нормування та управління витратами енергії автомобілями в експлуатації, що успішно впроваджено у третій, принципово новій редакції нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті».

6. Методологічні підходи та результати вирішення комплексу проблемних завдань, пов'язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку ДТЗ в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних ЗР, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

Практична значимість одержаних результатів:

1. Отримано принципово нові можливості і результати з системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ, які впроваджені, зокрема, у чинних нормативно-правових документах, на міжнародному рівні, а також прийняті до використання та подальшого практичного впровадження центральними органами виконавчої влади.

2. Вперше в Україні отримано можливості випробування ДТЗ та їх двигунів відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів (Правил ООН) в частині визначення викидів ЗР, які використовують підприємства автомобілебудівної промисловості.

3. Отримано принципово нові та унікальні можливості для проведення експериментальних та розрахункових досліджень ДТЗ та їх двигунів, моторних палив різних рецептур тощо. Забезпечено розвиток матеріально-технічної бази проведення наукових досліджень у галузі в частині екології та енергетики дорожнього транспорту.

4. Розроблено оригінальні пропозиції щодо концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів, прийняті до практичного впровадження Міністерством інфраструктури України (із розробленням проєктів нормативно-правових актів, що мають на меті їх практичну реалізацію).

5. Істотно вдосконалено систему нормування та управління витратами енергії автомобілями в експлуатації, що успішно впроваджено у третій, принципово новій редакції нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті». Широкомасштабне застосування цього нормативного документу підприємствами в країні надало дійові інструменти для підвищення ефективності використання енергії та, опосередковано, забруднення атмосферного повітря ДТЗ.

6. Вирішено комплекс пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку ДТЗ в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних ЗР, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

Результати дисертаційної роботи отримали широке впровадження, зокрема, впровадження на міжнародному рівні:

I. В державних структурах:

1. Міністерством інфраструктури України, зокрема:

- у нормативному документі «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті»;
- у нормативному документі «Порядок затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання»;
- Рекомендаціях (висновках) технічної служби, ухвалених Комісією Міністерства інфраструктури України з питань забезпечення виконання

Женевської Угоди 1958 року (протоколи від 09.02.2018 № 24 та від 19.12.2018 № 33).

2. Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, зокрема:

- у Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів 2012 року подання, що охоплює період 1990 – 2010 рр.;

- у Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів 2018 року подання, що охоплює період 1990 – 2016 рр., та національних кадастрів 2019 і 2020 років подання..

За проханням Міндовкілля та Інституту економіки та прогнозування НАН України, отримані у розділі 3 результати моделювання також було їм передано у січні 2021 р. з метою обґрунтування коригування цільових завдань другого національно визначеного внеску України за Паризькою угодою (тобто міжнародних зобов'язань України), в частині, що стосується дорожнього транспорту.

3. Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України результати дисертаційного дослідження впроваджено у співробітництві з Міжнародним енергетичним агентством.

4. Державною службою статистики України для покращення якості представлення динамічного ряду даних споживання моторних палив транспортом.

II. Автомобілебудівною промисловістю впроваджено розроблені в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» під науковим керівництвом автора інноваційні технології та високотехнологічне обладнання випробувального комплексу для проведення вітчизняною автомобілебудівною промисловістю різноманітних досліджень та дослідно-конструкторських робіт, а також робіт з оцінки відповідності продукції сучасним вимогам міжнародних технічних регламентів, а саме:

5. Асоціацією автовиробників України (Асоціацією «Укравтопром»);

6. Технічним центром ПрАТ «ЗАЗ»;

7. ПрАТ «АвтоКрАЗ»;

8. ТОВ «Чернігівський автозавод»;

9. АТ «Черкаський автобус»;

10. ТОВ «НВП Джионікс» (розробник та виробник електронних систем керування двигунами транспортних засобів).

В цілому, представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень, створені у роботі технології, методи, обладнання, та пропозиції щодо державного регулювання у визначеній сфері, а також впроваджені нормативно-правові акти, реалізують системне управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто. Створення комплексу науково-дослідного обладнання та розвиток матеріально-технічної бази для проведення випробувань продукції відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів і стандартів та здійснення наукових досліджень у транспортній та суміжних сферах здійснювався колективом ДП «ДержавтотрансНДІпроект» протягом останніх 20 років під науковим керівництвом та за безпосередньої участі автора, який безпосередньо розробляв концепції створення нового обладнання і технологій, принципові технічні рішення щодо побудови, принципів роботи обладнання і систем, принципові електричні, гідравлічні, пневматичні, комунікаційні, та інші схеми, принципові рішення щодо компонування обладнання, елементної бази, у тому числі щодо розроблення комплексу спеціалізованого комп’ютерного програмного забезпечення для управління випробувальним комплексом та збирання даних вимірювань тощо.

У працях із співавторами автор здійснював постановку задач і розробляв методи їх розв'язання [354 , 391, 346, 394, 376, 352, 353, 342, 368, 377, 347, 444, 446, 450, 451, 452, 453, 455, 456, 457, 458, 442, 445, 388, 389, 392, 393, 441, 365, 443, 356 – 364, 447, 448, 449, 455], розробляв концепції та концептуальні рішення, основи (ідеологією) нових методів, принципи побудови нових зразків обладнання і систем, принципові схеми тощо [390, 365, 366, 367, 392, 393, 441, 443, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 453, 455, 456, 457, 458, 349, 355, 350, 351, 348, 344, 345, 459], проводив теоретичні дослідження, здійснював математичне моделювання, аналіз [395, 343, 438, 439], розробляв методики та проводив експериментальні дослідження [369, 373, 374, 375, 372, 371, 370].

Всі викладені в дослідженні теоретичні і концептуальні засади, математичні моделі розроблені особисто автором. Особистий внесок здобувача у представлені результати є визначальним. Теоретичні положення, висновки та наукові результати дослідження, що виносяться на захист, одержані автором самостійно.

Апробація результатів. Результати дисертаційного дослідження доповідалися на: 29 наукових конференціях (у тому числі – міжнародних), перелік яких наведено у додатку Б; 5 міжнародних семінарах (3 – за кордоном) за участі представників центральних органів виконавчої влади, науковців та фахівців з країн-членів ЄС.

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження: опубліковано 43 наукові праці у фахових виданнях, у тому числі: 1 стаття у іноземному науковому фаховому виданні, індексованому у Web of Science; 3 статті у науковому фаховому виданні, індексованому у Scopus; 5 статей в іноземних наукових фахових виданнях; 34 статті у вітчизняних наукових фазових виданнях; видано 2 монографії у співавторстві. Також опубліковано 10 наукових праць, які додатково відображають наукові результати дисертації. В цілому матеріали дисертаційної роботи висвітлені у 53-х опублікованих наукових працях, а також в матеріалах 29-х конференцій. Також отримано 4

патенти на винаходи і 9 патентів на корисні моделі. Перелік публікацій наведено у додатку Б.

Структура дисертації та її обсяг

Дисертація складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 462 найменувань, та 19 додатків.

Повний обсяг основної частини дисертації становить 506 стор., з них в цілому 295 стор. основного тексту, визначених за кількістю знаків з пробілами. Основна частина містить 234 рисунка та 15 таблиць. Список використаних джерел викладено на 59 сторінках.

В окремій книзі наведено додатки до основної частини дисертації, обсягом 252 стор. Додатки містять 73 рисунка та 14 таблиць.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ НАПРЯМІВ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ЗАБРУДНЕННЯМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

1.1. Світовий парк дорожніх транспортних засобів

Україна сьогодні задовольняє переважну частину потреби у дорожніх транспортних засобах за рахунок імпорту нової й вживаної техніки, а також ключових автомобільних компонентів (двигуни, трансмісії, електроніка та елементна база) для власного виробництва автомобілів, з різних регіонів світу, тобто дуже залежить від кон'юнктури світового ринку і глобальних тенденцій у цій сфері.

На рис. 1.1 показано історичний та прогнозований парк дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) у країнах-учасницях Групи транспортних завдань (TTG), створеної відповідно до плану дій з енергоефективності країн Великої двадцятки (G20) у 2014 р. для сприяння співпраці між країнами-учасницями G20 для розробки внутрішньої політики, що покращує енергоефективність та екологічну ефективність автотранспортних засобів, особливо важких транспортних засобів [10]. Економіка G20 в сукупності становить дві третини світового населення, понад 80% світового попиту на енергію та понад 90% продажів нових легких та важких автомобілів [10].

Не зважаючи на збільшення виробництва електромобілів і гібридів, за прогнозами багатьох джерел, бензинові легкові автомобілі ще тривалий час домінуватимуть у продажах, зокрема у США – до 2050 р. і надалі (рис. 1.2), за даними [11].

На рис. 1.3 показано прогноз зростання продажів в США електромобілів з різною відстанню пробігу та гібридів до 2050 р. [11].

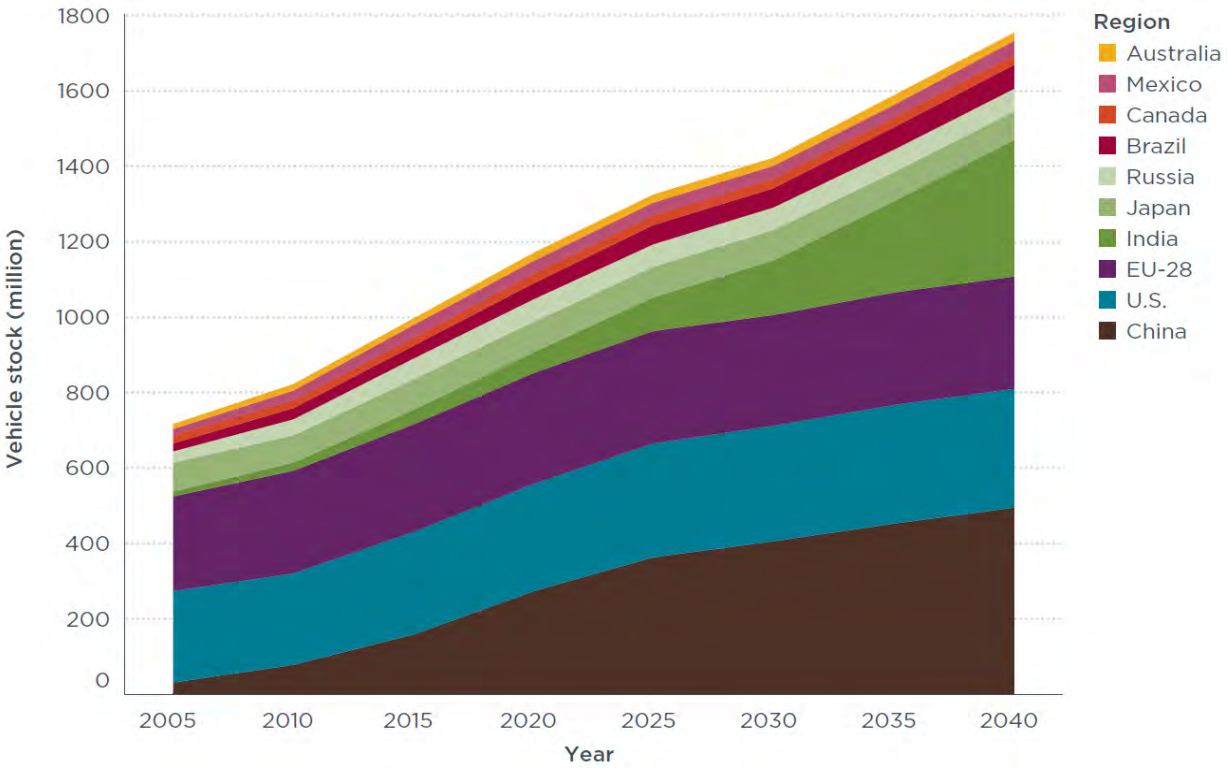


Рисунок 1.1 – Історичний та прогнозований парк легкових та вантажних автомобілів у 2005–2040 рр. TTG [10]

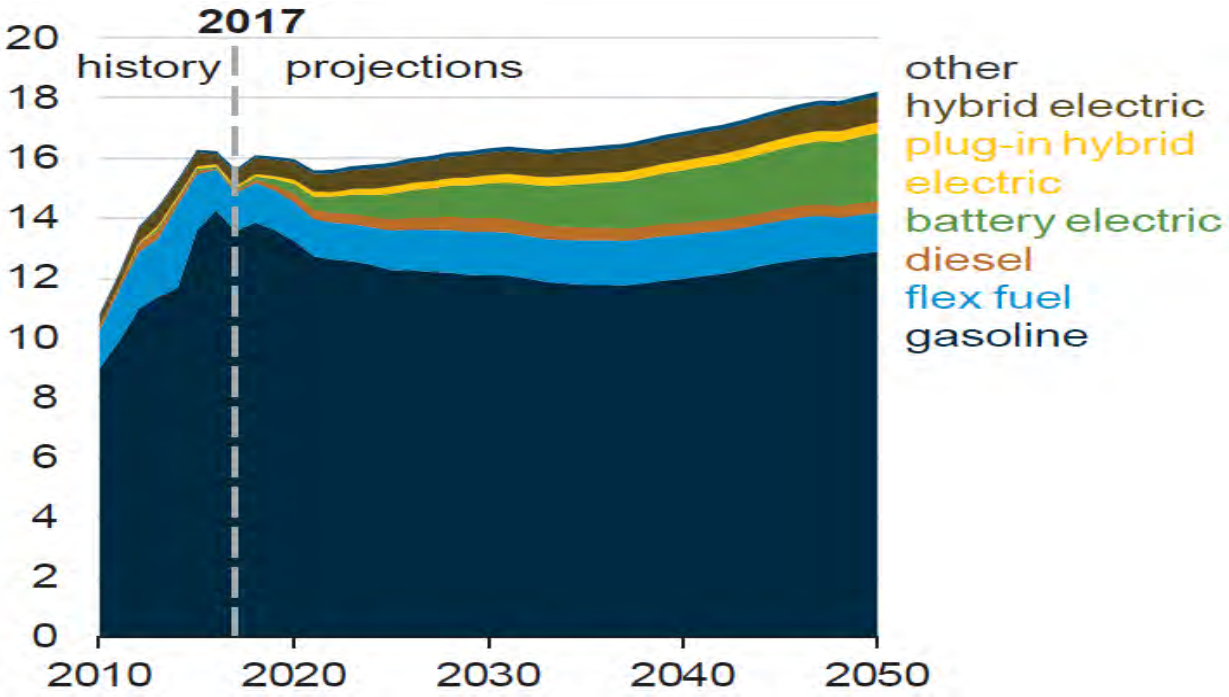


Рисунок 1.2 – Продаж в США легкових автомобілів за видами палива/енергоустановки(мільйони транспортних засобів) [11]

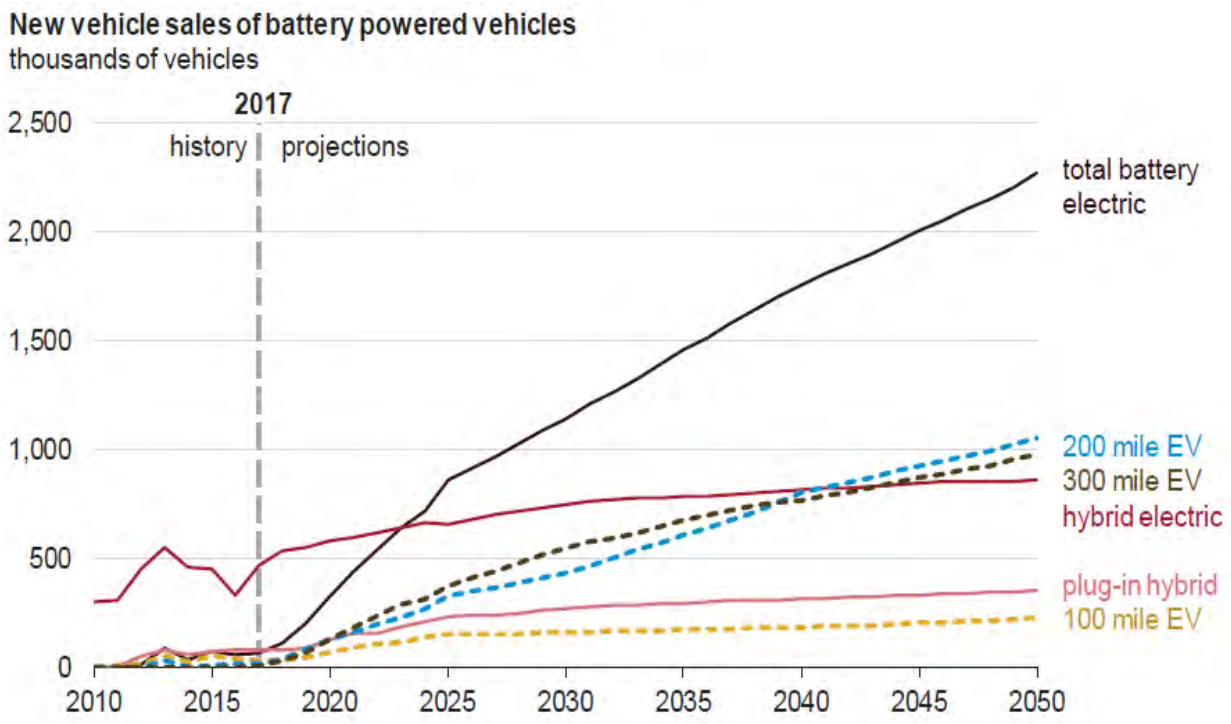


Рисунок 1.3 – Прогноз зростання продажів в США електромобілів (тис. одиниць) з різною відстанню пробігу та гібридів до 2050 р. [11]

За даними [11] в США за базовим сценарієм:

– сумарні продажі нових електромобілів, гібридів та гібридів із заряджанням від мережі мають зростати з 4% ринку у 2017 році до 19% у 2050 році;

– сукупна частка продажів, що припадає на бензинові автомобілі та «flex-fuel» автомобілі (які використовують сумішеві палива з вмістом етанолу до 85%) знижується з 95% у 2017 році до 78% у 2050 році через зростання продажів електромобілів та гібридів.

– нові транспортні засоби всіх типів палива демонструють значне покращення паливної економічності, продиктованим все більш жорсткими стандартами. Паливна економічність нових автомобілів покращується на 45% в період з 2017 р. по 2050 р.

– продаж акумуляторних електромобілів (BEV) збільшиться з менш ніж 1% від загального обсягу продажів автомобілів у США в 2017 році до 12% у 2050 році. Продаж гібридів із заряджанням від мережі (PHEV) збільшиться з менш ніж 1% до 2% в період з 2017 р. по 2050 р.

На рис. 1.4 показано світове щорічне (млн. од.) виробництво легкових автомобілів у 1983–2016 рр. по основних автомобілебудівних країнах [12].

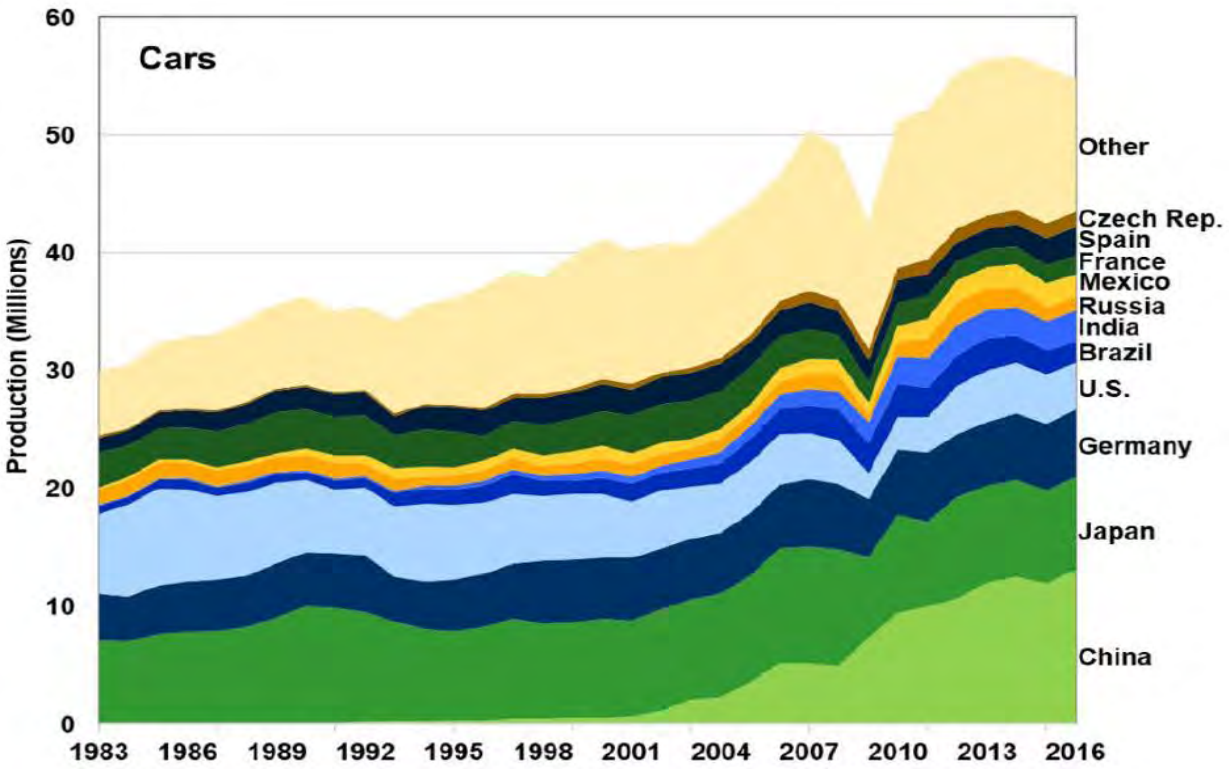


Рисунок 1.4 – Світове виробництво легкових автомобілів у 1983–2016 рр. [12]

На рис. 1.5 показано світове щорічне (млн. од.) виробництво вантажних автомобілів і автобусів у 1983–2016 рр. по основних автомобілебудівних країнах [12].

На рис. 1.6 і рис. 1.7 показано кількість автотранспорту на тисячу людей для різних країн у періоди 1929-2016 рр. та 1900-1928 рр. відповідно. Дані для США відображаються в рядку, який переходить з 1900 по 2016 рік. Позначки, позначені на цьому рядку, показують дані для інших країн або регіонів по

всьому світу та порівняння їхніх транспортних засобів на тисячу людей у порівнянні зі США у два різних моменти часу, 2006 і 2016 рр. Наприклад, графік показує, що в 2006 р. кількість транспортних засобів на тисячу людей в країнах Східної Європи були приблизно там, де були Сполучені Штати в 1942 р., а до 2016 р. - де США були в 1953 р. [12].

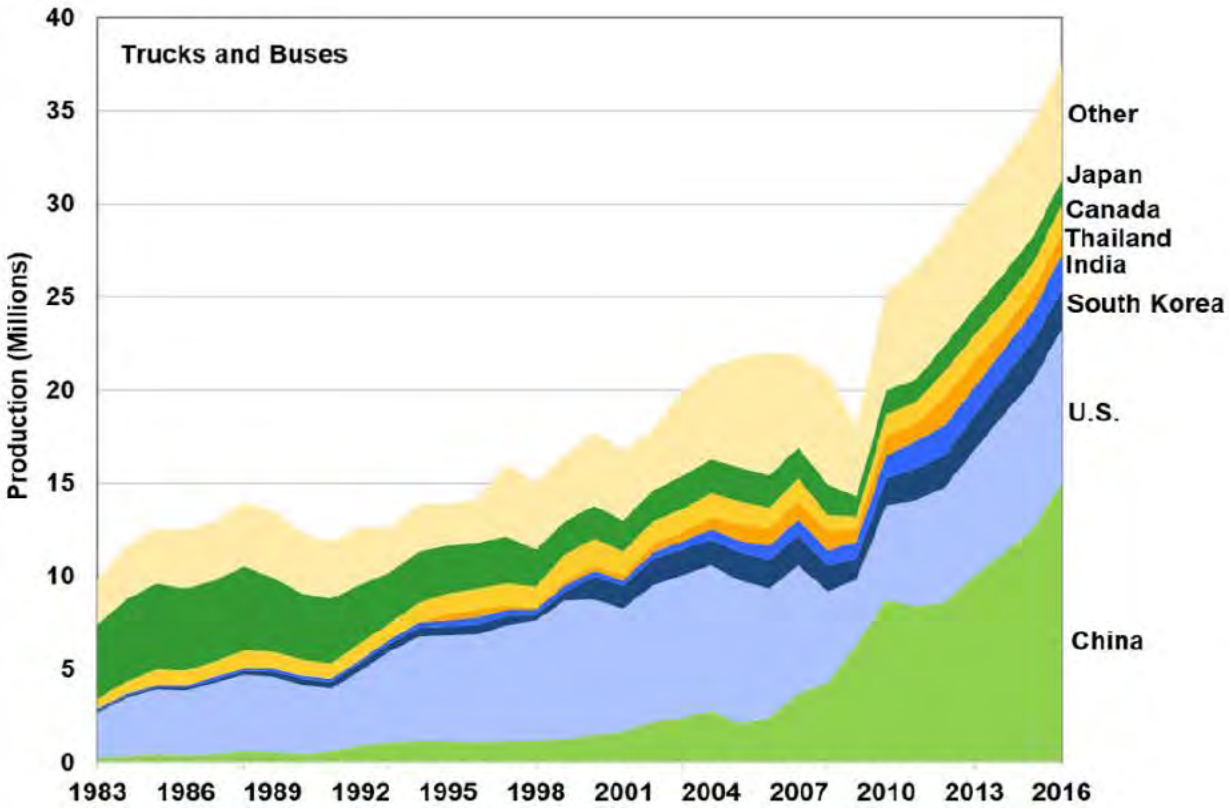


Рисунок 1.5 – Світове виробництво вантажних автомобілів і автобусів у 1983–2016 рр. [12]

Наведені вище дані дозволяють робити оцінки щодо потенціалу подальшого зростання кількості автомобілів в країні з огляду на стан економіки в цілому.

За останнє десятиліття міжнародна торгівля автомобілями, що були в користуванні, зростала дуже швидко. У 1997 р. світовий потік вживаних автомобілів склав 1,2 мільйона одиниць і лише через 10 років зріс до 4,7 мільйона. Ця торгівля має значний вплив на здоров'я, безпеку дорожнього руху, споживання енергії та викиди парникових газів [13].

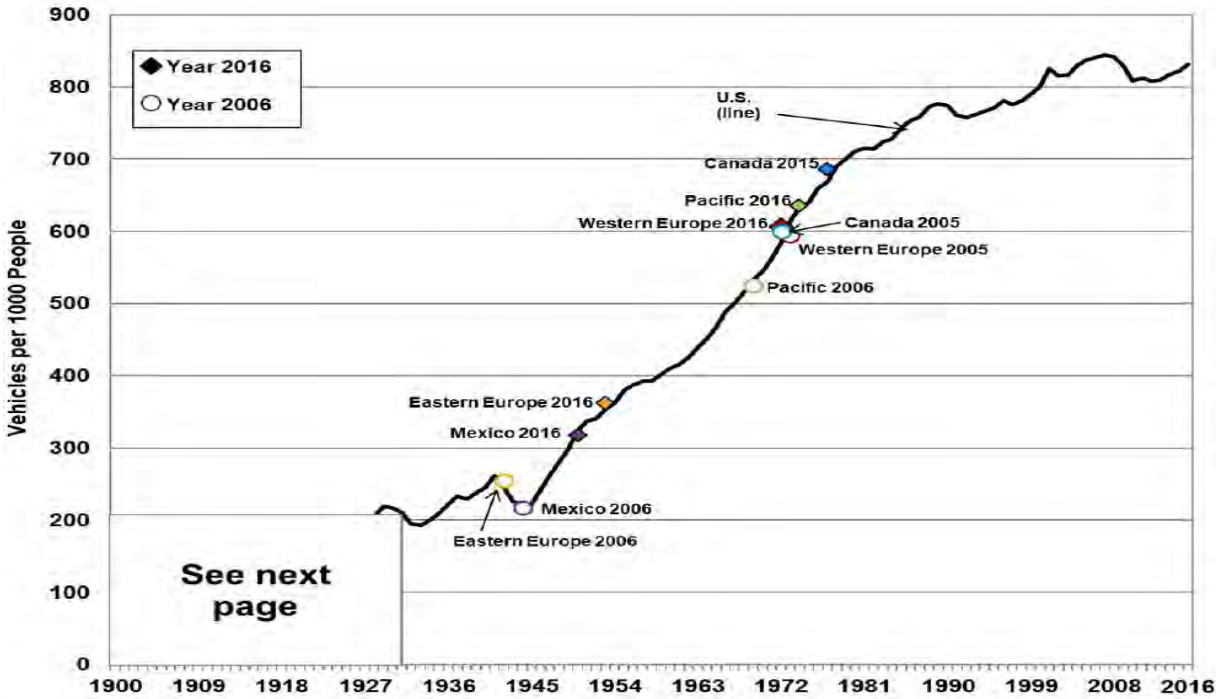


Рисунок 1.6 – Кількість автотранспорту на тисячу людей у США у порівнянні з іншими країнами у період 1929-2016 рр. [12]

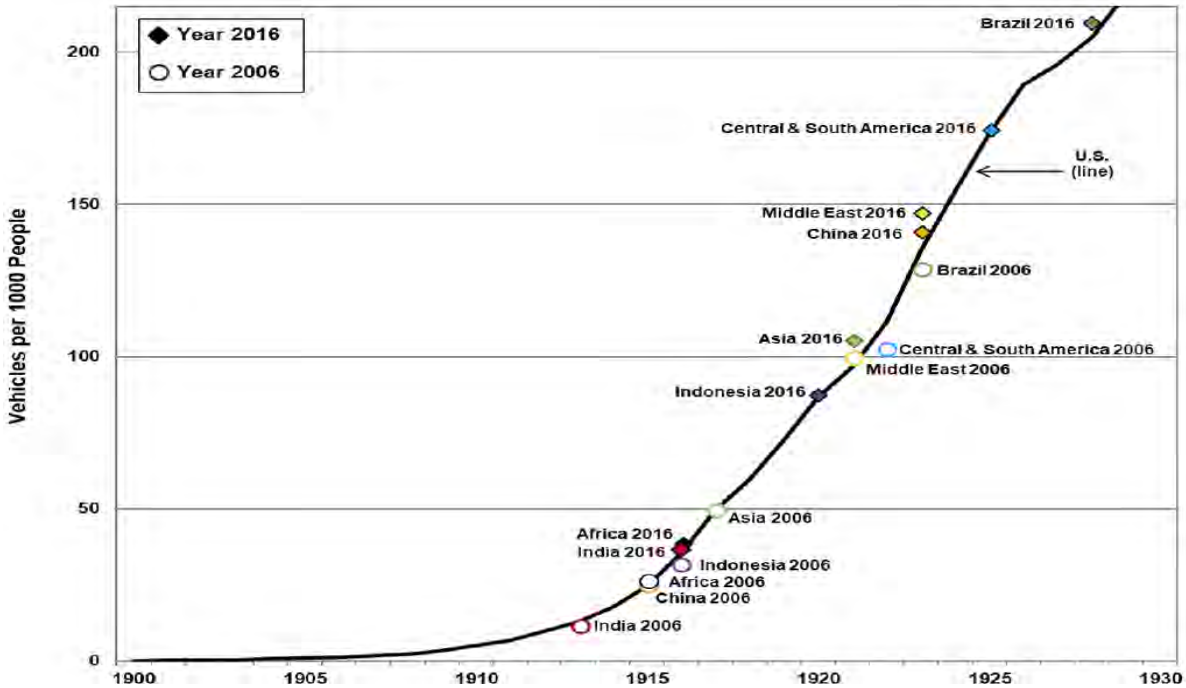


Рисунок 1.7 – Кількість автотранспорту на тисячу людей у порівнянні з іншими країнами у період 1900-2028 рр. [12]

Потоки міжнародної торгівлі вживаними легковими автомобілями у 2007 р. [13] показано на рис. 1.8.

Обсяги міжнародної торгівлі вживаними легковими автомобілями продовжують стрімко зростати та набули особливого значення для України протягом останніх декількох років.

Протягом перших 10 років використання автомобіля його паливна економічність в основному залишається незмінною, але, у подальшому, паливна економічність погіршується зі зростаючими темпами. Зокрема, після 15 років експлуатації вона швидко погіршується для більшості легкових автомобілів, втрачаючи інколи до половини ефективності за 25 років використання [13].

У всьому світі загальна кількість легкових автомобілів стрімко збільшується, і це дуже важливо для аналізу транспортного сектору. Ця тенденція походить від все більшого використання приватних транспортних засобів як засобів пересування. У період з 2000 по 2050 рік, за прогнозами Міжнародного енергетичного агентства, щорічні продажі нових автомобілів становитимуть 8% від загальної кількості [13].

Президентом Міжнародної організації виробників автотранспортних засобів (OICA) на генеральній асамблеї 2017 року було сформульовано позицію промисловості щодо розвитку нових технологій, та електромобілів зокрема, що можна викласти таким чином [14]:

1) «електромобілі пропонують істотну альтернативу двигунам внутрішнього згоряння, однак не є єдиним рішенням у світовому масштабі»;

2) «сьогодення повно невизначеності щодо майбутнього традиційних та нових технологій»;

3) «заборона будь-якої технології – свідомо помилковий шлях до досягнення рівноваги між промисловою політикою і захистом клімату»;

4) «промисловість має бути відкритою для технологій, це означає, що необхідно слідувати технологічно нейтральному підходу».

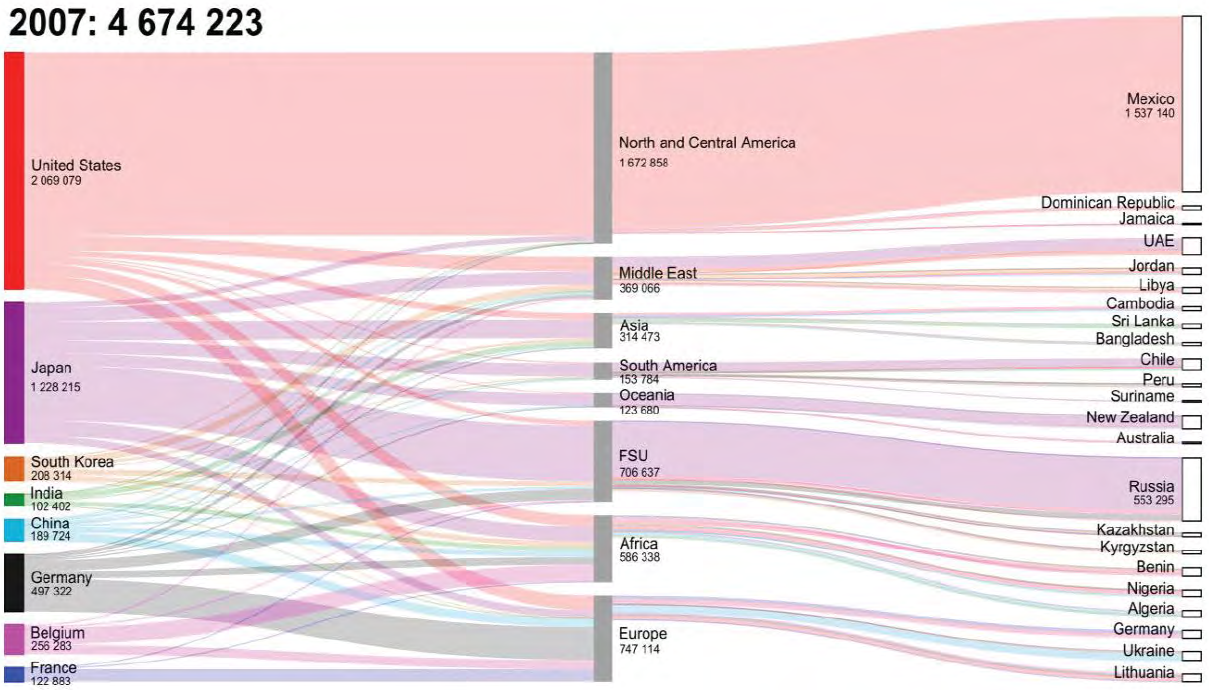


Рисунок 1.8 – Потоки міжнародної торгівлі вживаними легковими автомобілями у 2007 р. [13]

Фахівці компанії Toyota сумніваються в перспективах широкого поширення електромобілів та піддають критиці навіть розвиток технологій швидкого заряджання електромобілів, оскільки це, зокрема, створює проблеми з піковими навантаженнями електричних мереж. Компанія Toyota вважає, що [15]:

1) оптимальна «ніша» електромобілів – це поїздки на відносно невеликі відстані з зарядкою саме вночі під час зменшення споживання електроенергії іншими споживачами;

2) автомобілі на водневих паливних елементах (FCV) є найбільш перспективною альтернативою звичайним автомобілям, оскільки вони мають аналогічні запас ходу і час заправки.

Міжнародне енергетичне агентство, згідно з [16], у 2006 році надавало прогноз розвитку виробництва енергетичних установок для дорожніх транспортних засобів (ДТЗ), згідно з яким до 2020 р. близько 20%, а до 2050 р.

близько 50–60%, вироблених у світі автомобілів будуть з комбінованою енергетичною установкою (КЕУ) на базі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) або електромобілі, а в перспективі КЕУ - на базі електрохімічних генераторів (ЕХГ).

Питання реконструкції відсутніх статистичних даних щодо кількості активних ДТЗ в Україні та детальної структури парку, що перебуває в експлуатації розглянуто у розділі 7.

1.2. Споживання енергії дорожнім транспортом

Дорожній транспорт є важливою інфраструктурною складовою економіки будь якої країни та найбільшим споживачем моторних палив, які переважно імпортуються в Україну. Це є важливим (критичним) елементом енергетичної залежності України.

Розподіл сумарних викидів CO_2 (екв.) на території України від різних видів транспорту наведено на рис. 1.9.

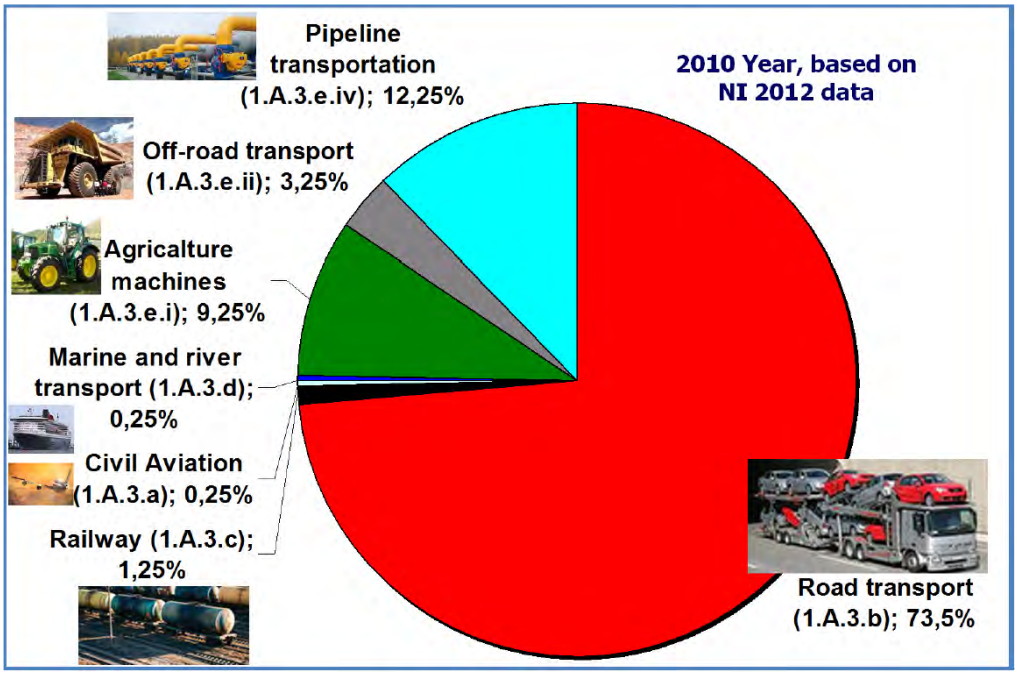


Рисунок 1.9 – Розподіл сумарних викидів CO_2 (екв.) на території України від різних видів транспорту

73,5% (або близько 3/4) сумарних викидів парникових газів CO_2 (екв.) на території України серед всіх видів транспорту продукує саме автомобільний транспорт, що експлуатується на дорогах загального користування. Позашляховий транспорт і сільськогосподарська техніка разом продукують 12,5% викидів парникових газів, зведених до CO_2 (екв.). На залізницю, авіаційний, морський та річковий транспорт разом припадає всього 1,75% викидів CO_2 (екв.), за які звітує Україна.

Прогноз викидів парникових газів в Україні до 2050 року за сценарієм консервативної енергетичної стратегії [17] показано на рис. 1.10.

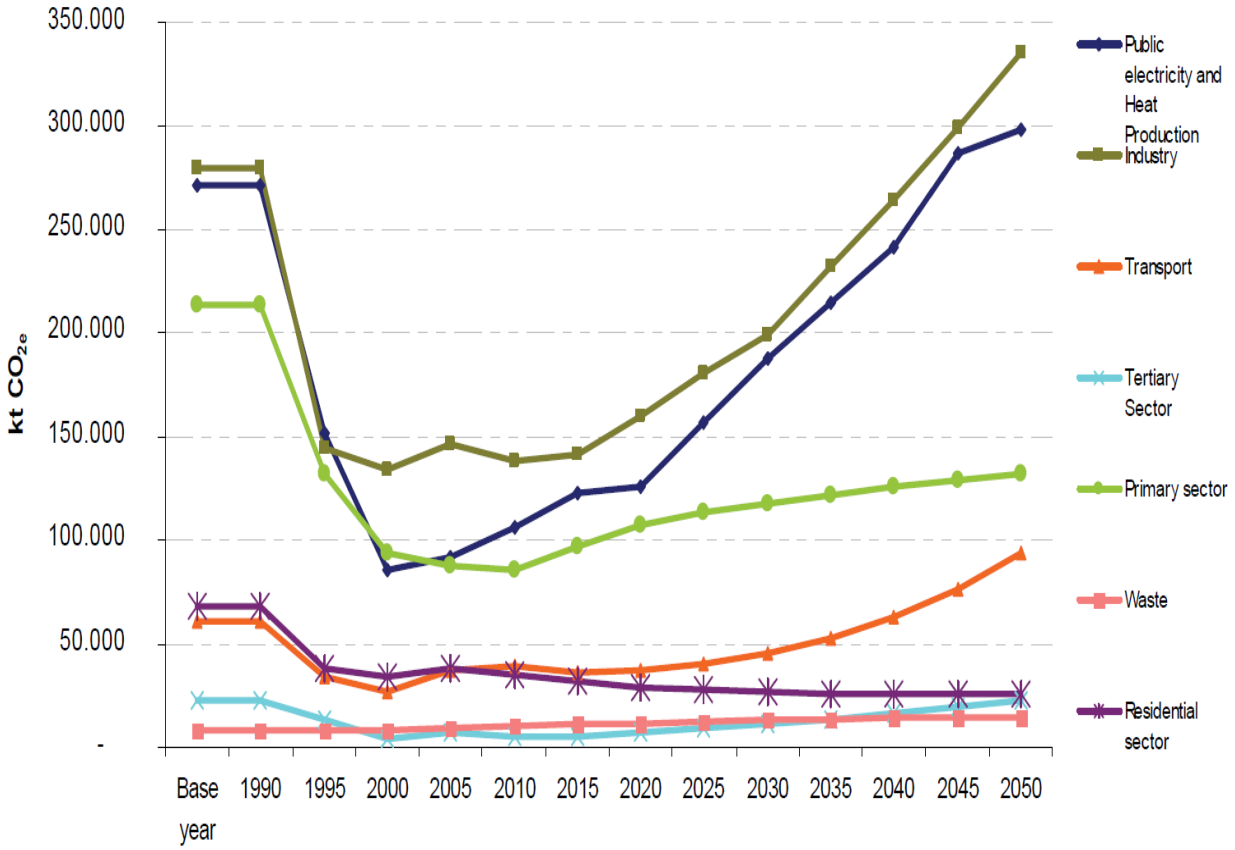


Рисунок 1.10 – Прогноз викидів парникових газів різними секторами в Україні за сценарієм консервативної енергетичної стратегії [17]

Глобальний попит на енергію, згідно з оцінками Міжнародного Енергетичного Агентства), виросте на 37% до 2040 р. У найближчій перспективі на нафтовому ринку не буде нестачі пропозиції, але збільшуватиметься залежність споживачів від невеликого числа виробників нафти [18].

Транспорт споживає понад 50% нафти в усьому світі. Три чверті енергії, що використовується в транспортному секторі, споживається автомобілями [19]. За прогнозами, наведеними у [19], викиди CO_2, пов'язані з енергетикою, до 2050 року зростуть орієнтовно удвічі (рис. 1.11), якщо не впроваджувати дійових заходів із скорочення споживання енергії та декарбонізації у секторі. Значне збільшення попиту на нафту також створює загрозу безпеки поставок та збільшення вартості енергії.

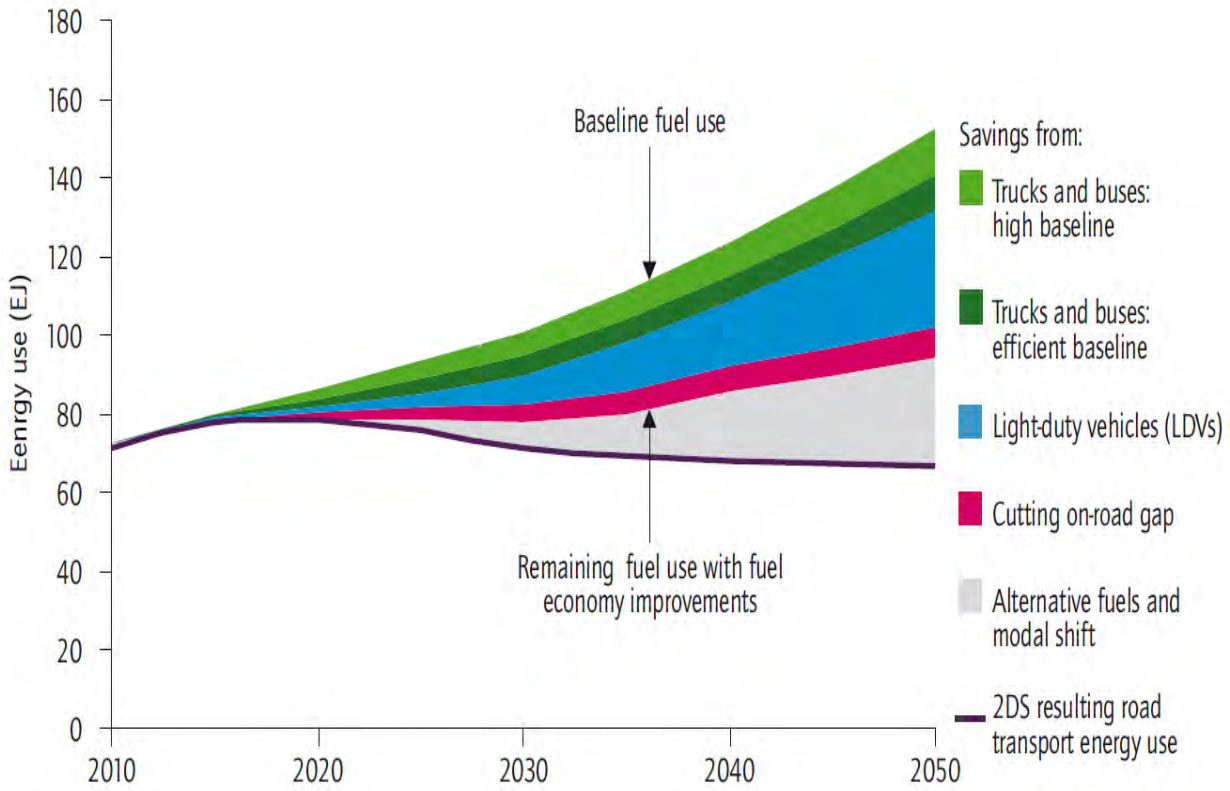


Рисунок 1.11 – Сценарії заощадження енергії у секторі дорожнього транспорту на період до 2050 року [19]

У [20] та в інших джерелах зазначається, що, протягом наступних кількох десятиліть, нафта залишиться основною сировиною для виробництва палив для всіх видів транспорту. Разом з тим, з точки зору оцінок перспектив розвитку електромобілів на європейському континенті слід зазначити, що прогнозовані зміни в структурі виробництва електроенергії в ЄС до 2050 року [21] передбачають значне зростання обсягів генерації з вітряних та сонячних електростанцій (рис. 1.12).

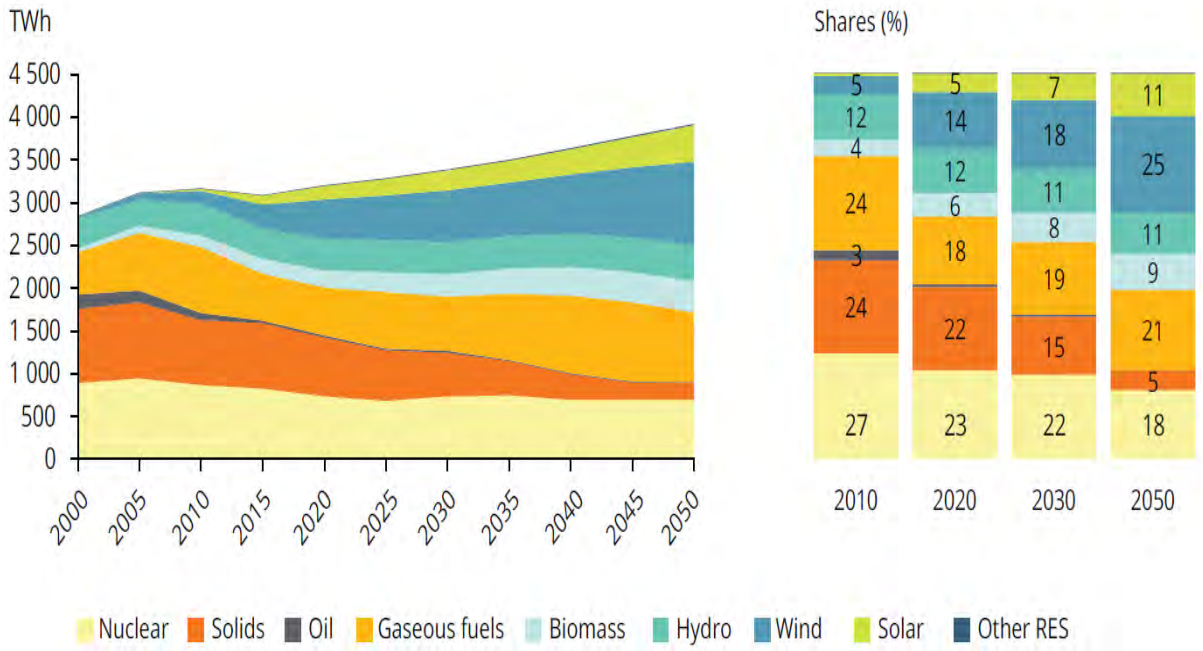


Рисунок 1.12 – Прогнозовані зміни в сумі виробництва електроенергії в ЄС до 2050 року [21]

Дорожній транспорт в оглядовій перспективі має передумови для суттєвого збільшення викидів парникових газів в Україні та зростання його відносної частки у викидах у порівнянні з іншими секторами національної економіки з огляду на процеси деіндустріалізації та потенційну ємність ринку приватних легкових автомобілів (рівень автомобілізації України за показником кількості автомобілів на 1000 жителів у декілька разів є меншим ніж в країнах ЄС [22], наприклад, щонайменше у 3 рази є меншим, ніж у Польщі).

1.3. Викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря дорожнім транспортом та стан забруднення атмосферного повітря в містах України

Автомобільний транспорт в населених пунктах справляє викиди переважно у безпосередній близькості до місць масового зосередження людей. Як показано у розділі 7, це робить його домінантним забруднювачем, що зумовлює небезпечні концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі, яким дихають люди.

За даними мережі спостережень національної гідрометслужби України [23] які отримані у 39 містах на 129 стаціонарних постах забруднювальних речовин «загалом по Україні у І півріччі 2016 р. середні концентрації шкідливих речовин за даними з міст, де проводились спостереження, перевищували середньодобові гранично допустимі концентрації (ГДКс.д.) з формальдегіду – в 2,3 раза, з діоксиду азоту – в 1,5 раза». «За середніми концентраціями у І півріччі 2016 р. перевищення ГДКс.д. зафіксовано з діоксиду азоту у 23 містах, формальдегіду – у 22, завислих речовин – у 8». «Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в містах України у І півріччі 2016 р. оцінювався як високий». Порівняно з І півріччям 2015 р. рівень забруднення зріс – з «підвищеного» до «високого» (тобто спостерігалася тенденція до погіршення ситуації). Слід зазначити, що фактичні концентрації забруднюючих речовин на вулицях місць через особливості умов їх розсіювання у просторі можуть набагато перевищувати середньодобові значення, що отримують на стаціонарних постах спостереження.

Автомобілі з дизелями є емітентом особливо небезпечної різновидності зважених частинок ($PM_{2.5}$) у складі яких абсорбовано багато канцерогенів, що утворюються в камерах згоряння двигунів.

Крім зважених частинок ($PM_{2.5}$), а також оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та летких неметанових органічних сполук (NMVOC), діоксиду

сірки (SO_2), у складі відпрацьованих газів автомобільних двигунів налічують сотні шкідливих речовин (наприклад, широко відомий громадськості бенз(альфа)пірен є лише одним з численного ряду інших менш вивчених наукою канцерогенів, що цілодобово вдихають мешканці міст).

Найбільш страждають від забруднення довкілля автомобільним транспортом найменш захищені верстви населення – діти та люді похилого віку.

1.4. Оцінки макроекономічних витрат, пов‘язаних з забрудненням атмосферного повітря автомобільним транспортом та іншими видами негативного впливу на навколишнє середовище

Макроекономічні оцінки збитків від забруднення довкілля в ЄС варіюють від 427 до 790 мільярдів євро на рік [24], де дорожній транспорт відіграє значну роль. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища щорічна смертність людей від забруднення повітря тільки зваженими частинками ($PM_{2.5}$) у сім разів перевищує смертність від ДТП [5]. Збитки лише від шуму на дорогах і заторів коштують близько 36 євро та 100 мільярдів євро відповідно [8].

Щорічний екологічний збиток від забруднення атмосфери і ґрунтів викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами, продуктами зношування шин, гальмівних накладок і дисків зчеплення, від витоку і випарів паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин, від шуму, вібрації та інших впливів на навколишнє середовище при функціонуванні автотранспортного комплексу оцінювали у [25] на рівні приблизно в 1,5-1,8% внутрішнього валового продукту (ВВП). За оцінкою Організації економічного співробітництва і розвитку, щорічні економічні збитки від забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом у східно- і центральноєвропейських країнах становили 3…4 % від ВВП [4].

Щорічні макроекономічні збитки від забруднення довкілля автотранспортом в Україні оцінюють орієнтовно в еквіваленті 2…3 млрд. євро за самими помірними оцінками [9]. Методики техніко-економічної оцінки ефективності заходів щодо зниження шкідливих викидів транспортом розглядають, зокрема, в [26].

Згідно з інформацією Світової організації охорони здоров‘я, Україна посідає останніми роками перші місця у світі за рівнем смертності на душу населення, спричиненої забрудненням атмосферного повітря [6].

1.5. Оцінки резервів зменшення питомого споживання енергії автомобільним транспортом

Огляд досліджень щодо оцінки резервів зменшення питомого споживання енергії автомобільним транспортом розглянуто у джерелах [27 – 49] та наведено у додатку А.1.

Слід зазначити, що прогнози підвищення конструктивної енергетичної ефективності нових ДТЗ, зроблені у попередні роки, виявилися надто оптимістичними. Попри наявний теоретичний потенціал зменшення питомого споживання енергії автомобільним транспортом, його реалізація стримується низькою технологічних та, у першу чергу, економічних бар’єрів, оскільки більш ефективні, але значно більш дорожчі ДТЗ можуть не витримувати жорстку конкурентну боротьбу за споживача на світовому ринку.

У додатку А.1 розглянуто різні оцінки потенціалу покращення та її вартість, з оцінкою її зміни з часом через ефект зростання масштабу виробництва нових (на перших етапах дуже дорогих) новітніх технологій. Зазначені оцінки використано у розділі 3 з математичного моделювання.

1.6. Оцінки потенціалу зменшення питомих викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря автомобільним транспортом

Аналіз екологічних норм «Євро-5» і «Євро-6» до автомобільних двигунів виконано, зокрема, у [50], де надано пояснення причин впровадження окремих вимог, серед яких, окрім більш жорстких норм викидів, варто зазначити у першу чергу таке.

Додатково запроваджено два унормованих показника викидів: рахункова концентрація частинок і концентрація аміаку.

Раніше емісію частинок було унормовано тільки за масовими викидами, та опосередковано через показник димності відпрацьованих газів для контролю технічного стану в експлуатації. Вдосконалення паливної апаратури, продиктоване в значній мірі необхідністю забезпечити виконання все більш жорстких вимог «Євро» до норм масових викидів частинок, за рахунок, зокрема, підвищення тиску впорскування та дрібнодисперсного розпилення палива, дозволило значно зменшити масові викиди частинок. Але, поряд зі зменшенням загальної маси частинок у відпрацьованих газах, це призвело також до зменшення їх розмірів та, навпаки, до збільшення їх токсичності, оскільки частинки розміром менше 1 мкм проникають глибоко в легені і викликають ракові захворювання [50]. Тому й було прийнято рішення додатково обмежити їх кількість в відпрацьованих газах впровадженням також норм викидів у вигляді рахункової концентрації, що, окрім дизелів, поширили також на бензинові двигуни з безпосереднім впорскуванням палива в циліндри.

Але сам показник рахункової концентрації частинок та встановлений Правилами ООН № 83 і № 49 метод вимірювання рахункової концентрації з використанням конденсаційного лічильника має істотні недоліки. У розділі 4 роботи викладено більш детально цю проблему та запропонований напрям її

вирішення і, відповідно, розроблену у роботі технологію вимірювання кількості та дисперсного складу викидів частинок з відпрацьованими газами та з продуктами зношування.

Вимога до обмеження концентрації аміаку в відпрацьованих газах з'явилася в зв'язку з широким розповсюдженням систем селективного каталітичного відновлення оксидів азоту з застосуванням сечовини. Утворений при її розкладанні аміак використовується в реакції відновлення NO до азоту (N_2). При некоректній роботі систем регулювання подачі сечовини, або при втраті ефективності системи нейтралізації, викиди аміаку (що є токсичною речовиною) можуть збільшуватися [50].

Змінилися також випробувальні цикли для двигунів, що ускладнюють виконання встановлених норм викидів. Впроваджено всесвітньо узгоджені цикли зі стаціонарними (WHSC) і змінними (WHTC) режимами роботи, які істотно відрізняються від попередніх циклів ESC та ETC. Впроваджено новий їздовий цикл за процедурою WLTP Глобальних правил для легкових автомобілів та легкої комерційної техніки.

Посилилися вимоги до довговічності двигуна і систем зниження викидів, що впроваджено збільшенням нормативного пробігу автомобілів, при якому повинні задовольнятися норми викидів.

Впроваджено додатковий вид випробувань ДТЗ на дорозі з визначенням викидів в умовах реальної експлуатації.

З введенням норм «Євро-6» дедалі посилилися вимоги до порогових значень викидів, за яких бортовий діагностична система має сигналізувати про несправний стан та переводити ДТЗ в спеціальний «аварійний» режим роботи, що змушує невідкладно здійснювати ремонтні роботи. У розділі 6 роботи наведено результати дослідження цього питання.

[51] звертає увагу на помилкове позиціювання електромобілів як екологічно чистого транспорту, та зазначає такі аргументи, посилаючись на

результати досліджень, зокрема, вмісту в атмосферному повітрі міст забруднювальних речовин і джерел їх походження.

Основним забруднювачем міського повітря у мегаполісах може бути – стерта у дрібний пил гума автомобільних шин, яка є вельми небезпечною для здоров'я населення. Встановлено, що в шинному пилу присутні більше 140 хімічних сполук різного ступеня токсичності, але особливо небезпечними для здоров'я людини є поліароматичні вуглеводні та N-нітрозаміни з вираженим канцерогенним впливом. Підприємства гумової і шинної промисловості включені Міжнародним агентством з вивчення раку в список канцерогенно небезпечних [51].

Продукти зношування дорожнього асфальтового полотна містять велику кількість канцерогенних, можливо навіть більш шкідливих речовин. Середня величина зносу дорожнього покриття автомагістралі може складати 5,3 мм на рік [51].

Аналіз складу повітря уздовж шосе з помірним рухом автотранспорту виявив присутність від 3800 до 6900 фрагментів шин в кожному кубічному метрі повітря, з них більше 58% виявилися розміром менше 10 мікрон (PM_{10}), тобто здатні легко проникати в легені людини (такий шинний пил з організму людини практично не виводиться і деколи приводить до летальних наслідків) [51].

[51] надає такі оцінки масового розподілу загальних викидів продуктів зношування від автомобілів:

– 60-90% – матеріал дорожнього покриття;

– 9-36% – матеріал пневматичних шин;

– 1-4% – матеріал гальмівних механізмів автомобілів.

У [51] висловлено думку, що відомий на весь світ Лондонський і Паризький смог (завислий у повітрі аерозоль, що складається з диму, туману і пилу) пов’язаний у першу чергу з викидами продуктів зношування автомобільних шин і дорожнього полотна.

Оцінки шкідливих викидів ДТЗ в експлуатації розглянуто, зокрема, у [52, 53]. Оцінки зниження збитків протягом експлуатації середньостатистичного легкового (300 тис. км) та вантажного автомобіля (1 млн. км), при переході на більш жорсткі екологічні норми «Євро», надано, зокрема, в [54] (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Оцінки зниження збитків протягом експлуатації середньостатистичного легкового та вантажного автомобіля при переході на більш жорсткі екологічні норми «Євро» [54]

Етап переходу на екологічні норми	Оцінки зниження збитків (євро) середньостатистичним легковим автомобілем з бензиновим двигуном за 300 тис. км	Оцінки зниження збитків (євро) середньостатистичним вантажним автомобілем за 1 млн. км
з «Євро-0» на «Євро-1»	4016	333920
з «Євро-1» на «Євро-2»	4438	163481
з «Євро-2» на «Євро-3»	26660	108942
з «Євро-3» на «Євро-4»	1616	69684
з «Євро-4» на «Євро-5»	356	44600

У [55] висловлено цілком слушну думку, що використання терміну «екологічно чистий» автомобіль є некоректним, та доцільно розглядати показник екологічної небезпеки автомобіля і приступити до його комплексного нормування. У [55] запропоновано розробити показник екологічної небезпеки ДТЗ, виражений у вигляді шкоди навколишньому середовищу, що складається з трьох складових екологічного збитку: від відпрацьованих газів, і, додатково, від шинного пилу і продуктів зношування дорожнього покриття, враховуючі високий рівень шкідливості (агресивності) останніх.

Еволюцію вимог до питомих викидів NOx та PM двигунами вантажівок і автобусів в різних країнах [56] показано на рис. 1.13 і рис. 1.14 відповідно.

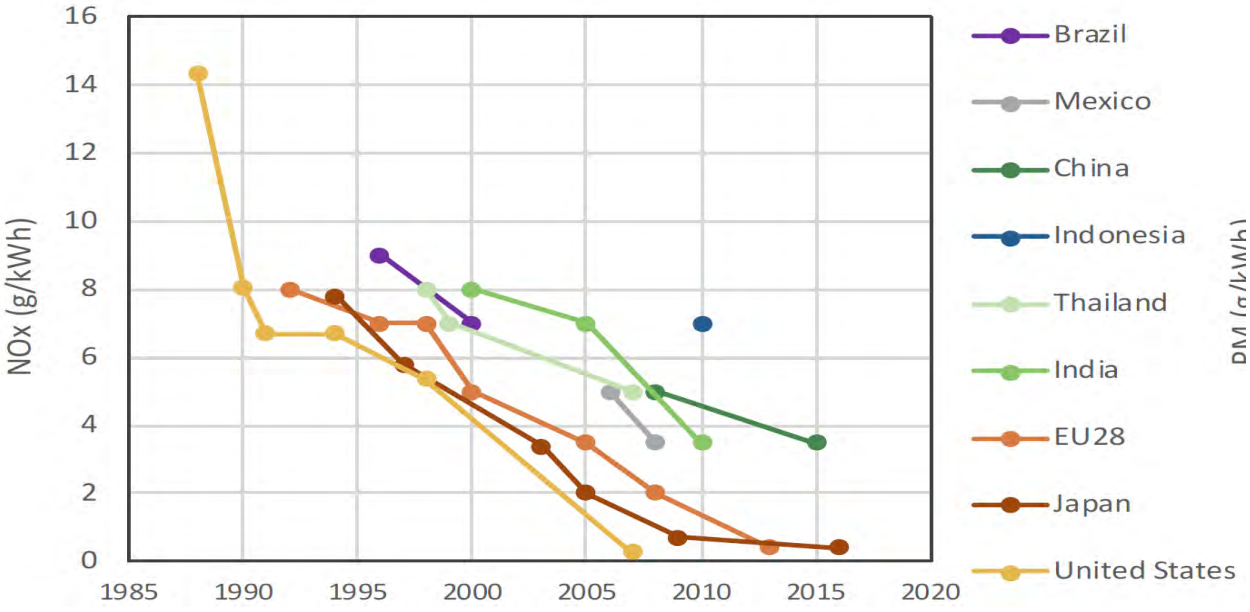


Рисунок 1.13 – Еволюція вимог до питомих викидів NOx двигунами вантажівок і автобусів в різних країнах [56]

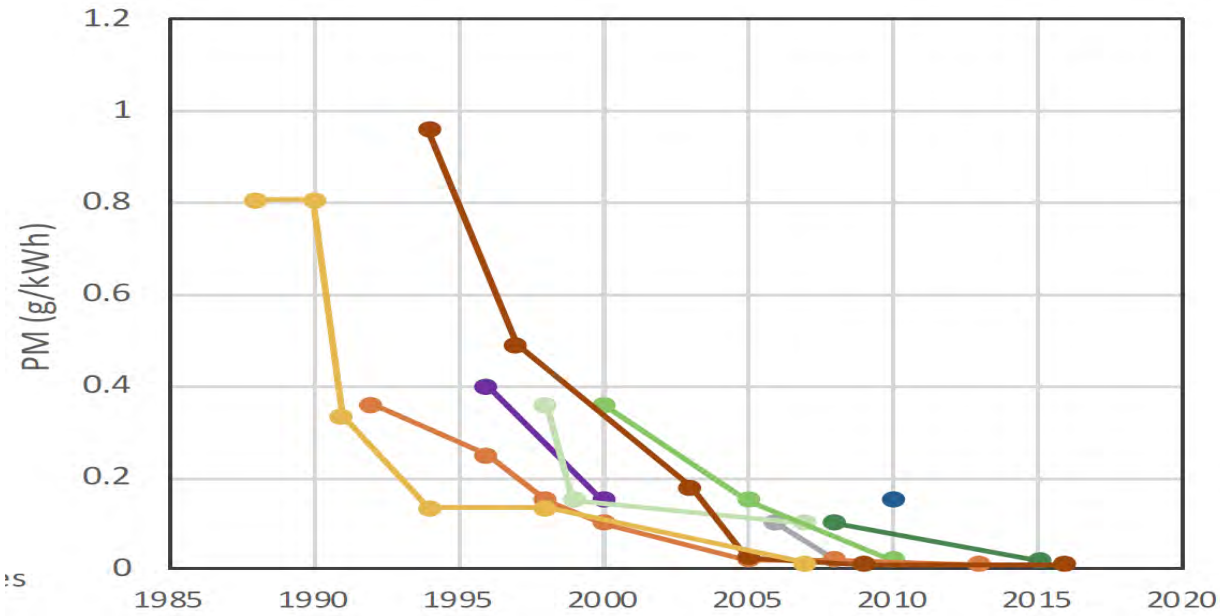


Рисунок 1.14 – Еволюція вимог до питомих викидів PM двигунами вантажівок і автобусів в різних країнах [56]

Разом з тим, як показано нижче у цьому розділі, та у розділі 5, очікування від впровадження все більш жорстких норм викидів, які вимірюють в штучних лабораторних умовах, не відповідають реальній картині зменшення викидів в реальних умовах експлуатації.

1.7. Окремі питання оцінки в життєвому циклі

Цікавий аналіз використання легкових автомобілів наведено в [57], відповідно до якого у Великобританії водії легкових автомобілів в середньому проводять в своїх машинах сім годин на тиждень, наїжджаючи приблизно 166 миль, або 556 764 миль за час життя, що рівноцінно 22 пробігам навколо землі.

Життєвий цикл у витратах власника легкового автомобіля у Великобританії виглядає таким чином [57]:

– техогляд і ремонт – 168,46 фунта в рік, або 10 865 фунтів за ціле життя;

– бензин – 89,67 фунта на місяць, або 69 404 фунта за ціле життя;

– технічне обслуговування – 441 фунт на рік, або 28 444 фунта за ціле життя;

– парковка – 12,15 фунта на місяць, або 9 404 фунта за ціле життя;

– страховка – 436 фунтів на рік, або 28 122 фунта за ціле життя;

– податки і збори – 116,35 фунта в рік, або 7 504 фунта за ціле життя;

– засоби догляду за автомобілем – 29,61 фунта на рік, або 1 909 фунтів за ціле життя;

– оренда автомобіля у відпустці – 180 фунтів на рік, або 11 610 фунтів за ціле життя;

– паркувальні і швидкісні квитки – 25,12 фунта на рік, або 1 620 фунтів за ціле життя.

Разом 168 880 фунтів.

Загальний, прийнятий у світі, баланс «Well To Wheels» (WTW) емісії (від свердловини до колеса) складається з «Well To Tank» (WTT)-аналізу (від свердловини до паливного баку) та «Tank To Wheels» TTW -аналізу (від паливного баку до колеса).

Порівняльна оцінка альтернативних видів енергоносіїв для дорожнього транспорту за методиками життєвого циклу (Life-Cycle Assessment, LCA) з

урахуванням WTW-аналізу, показує, що загальні показники емісії CO_2 для електромобілів і так званих гібридів Plug-in Hybrid (PHEV) при повному WTW-аналізі для діючих систем генерації і транспортування електроенергії, як правило, перевищують аналогічні значення для бензинових і дизельних автомобілів [58].

Передбачається, що зниження сумарних викидів CO2 в життєвому циклі при використанні електромобілів і PHEV є можливим в майбутньому за рахунок виробництва електроенергії саме з відновлюваних джерел енергії [58].

[58] та інші джерела доводять, що на даний час електромобілі не забезпечують рекламованого в ЗМІ зниження викидів CO_2, оскільки виробництво електроенергії для їх експлуатації все ще пов'язано із споживанням значних обсягів невідновлюваних енергетичних ресурсів. Крім того процес виробництва електромобілів потребує не тільки значних обсягів енергетичних, але й інших дефіцитних ресурсів планети, зокрема рідкоземельних металів.

ККД електромобілів у розрізі well-to-tank становить всього 20-26% за оцінками, наведеними в [58], а з урахуванням втрат на етапі tank-to-wheel, підсумковий ККД у розрізі well-to-wheel – 15-20%, що зовсім не перевищує ККД для бензинових і дизельних автомобілів.

Отже, з точки зору повного well-to-wheel аналізу, кращі за енергоефективністю електромобілі (що використовують на 100 км пробігу приблизно 200 Мдж первинної енергії в місці генерації електроенергії), виявляється, є порівнюваними з традиційними легковими автомобілями з бензиновим ДВС, які не перевищують норму викидів CO_2 у 120 г/км, та значно поступаються традиційним автомобілям з емісією CO_2 на рівні 100 г/км і нижче [58].

В [59] досліджується питання реалістичності заявлених виробниками показників витрати палива та емісії CO_2 для гібридних автомобілів.

Застосування LCA-аналізу для оцінки різних способів виробництва електроенергії показало, що є складнощі з деталізацією процесів для різних систем генерації електроенергії, де рівень викидів коливається в залежності від типів електростанцій, вихідного виду палива (вугілля, мазут, газ, уран і ін.), потужності навантаження (низькою, базової, пікової), а також від пори року і доби, дальності транспортування (і відповідних втрат енергії), та інших особливостей логістики різних країн і регіонів [59].

Тому досить важко однозначно оцінити у розрізі WTW всі впливи для конкретних комбінацій і процесів виробництва енергоносіїв. Наприклад, в Європі для таких розрахунків часто використовують усереднені дані для країн Євросоюзу, в тому числі щодо ефективності і екологічності виробництва електроенергії (EU-mix). Систематизований WTW-аналіз емісії парникових газів, що утворюються у повному циклі виробництва і споживання різних видів палив, з орієнтацією на усереднені значення для ЄС був організований і проведений Європейською консультативною радою з дослідження дорожнього транспорту ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council), основні результати якого наведені в табл. 1.2 [59, 60].

Відповідно до результатів розрахунків, наведених в [61], економічні витрати в повному життєвому циклі (виробництво, експлуатація, утилізація) для електромобілів і гібридів значно перевищують аналогічні значення для автомобілів з бензиновими, дизельними або газовими двигунами.

Комплексній WTW-аналіз різних варіантів PHEV у порівнянні з традиційними легковими автомобілями і гібридами без можливості підзарядки (HEV) був проведений у 2010 році в Аргонській національній лабораторії (Argonne National Laboratory) Департаменту енергетики США [61, 62]. Основні висновки цих досліджень такі [61, 62]:

Таблиця 1.2

Емісія парникових газів (у грамах $CO_{2\text{-екв}}$ / МДж) у розрізі WTW для автомобілів, які використовують різні види палив [61]

Паливо	Well-to-wheel викиди парникових газів (у грамах CO2-екв. / МДж)
Бензин	84
Дизельне паливо	90
Природний газ	66
Зріджений нафтовий газ	73
Водень	113
Біометан	17
Біодизель	34
Електрична енергія	156

– результати WTW-аналізу для PHEV дуже сильно залежать від способу генерації електроенергії і різні для атомних і гідроелектростанцій, станцій, що працюють на вугіллі або газі;

– PHEV, що споживають електроенергію з великою часткою вугільної генерації, виробляють викиди парникових газів, на рівні традиційних автомобілів, але трохи вище, ніж у гібридів без можливості підзарядки (HEV);

– PHEV, що споживають електроенергію з великою часткою генерації з природного газу, виробляють викиди парникових газів, зіставні з гібридами без можливості підзарядки (HEV);

– PHEV, що споживають електроенергію від усередненої генерації для США (USA-mix), що враховує атомні і гідроелектростанції, виробляли менше викидів парникових газів, ніж звичайні автомобілі з бензиновими двигунами, але більше, ніж гібриди без можливості підзарядки (HEV);

– для досягнення значного скорочення викидів парникових газів при використанні гібридів PHEV і електромобілів необхідно істотно збільшувати частку відновлюваних джерел енергії в загальній генерації електричної енергії.

Впровадження у масове виробництво таких нових технологій як гібриди та електромобілі пов’язано із підвищеними економічними витратами у

виробництві та в експлуатації у порівнянні з традиційними конструкціями [53].

Принципи оцінки транспорту в життєвому циклу використовуються сьогодні в багатьох дослідженнях, зокрема, в [63 – 67]. Наприклад, [64, 66] та інші дослідження висвітлюють проблемні аспекти загального впливу електромобілів на навколишнє середовище у повному життєвому циклі.

В цілому, окремим, розрізненим питанням оцінці транспорту в життєвому циклі та його системного аналізу присвячено велику кількість публікацій. Слід лише зазначити, що залишаються досі не достатньо розвинутими теоретико-методологічні основи системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням довкілля дорожнім транспортом у життєвому циклі з врахуванням всіх основних сфер, що охоплюють обслуговування, дорожню інфраструктуру, енергетичну, хімічну та машинобудівні галузі, видобуток сировини, утилізацію, та пов'язані процеси споживання енергії та забруднення навколишнього середовища, розподілені у просторі і часі.

1.8. Поточний стан державного управління в Україні підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

У Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року, схваленій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р. [3] поставлені, зокрема, такі завдання:

- забезпечення пріоритетності вимог екологічної безпеки, обов'язковості додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів під час провадження господарської, управлінської та іншої діяльності;

- впровадження механізму економічного стимулювання переходу вантажних та пасажирських перевезень на більш екологічно чисті залізничний та водний види транспорту;

- впровадження системи дорожніх зборів з користувачів автомобільних доріг залежно від екологічного класу автомобіля;

- впровадження економічних та інших заходів стимулювання використання в містах екологічно більш чистих видів транспорту, зокрема електромобілів, міського електричного транспорту;

- впровадження механізму економічного стимулювання перевізників для зменшення викидів забруднюючих речовин та ПГ, зниження рівня шумів від транспортних засобів;

- стимулювання використання альтернативних джерел енергії, а також екологічних видів транспорту та спецтехніки;

- здійснення комплексу регуляторних і фіскальних заходів, зокрема запровадження міжнародних екологічних норм для транспортних засобів, удосконалення механізму використання альтернативних моторних палив, впровадження економічних стимулів під час введення в експлуатацію транспортних засобів більш високого екологічного рівня;

- впровадження новітніх технологій тестування транспортних засобів за екологічними параметрами.

Стратегією планується досягнути, зокрема, таких результатів:

- зменшення обсягу викидів парникових газів в атмосферне повітря від пересувних джерел до 60 відсотків від рівня 1990 року;

- зменшення сумарного обсягу викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин від пересувних джерел, умовно приведеного до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, до 70 відсотків (від рівня 2015 року).

Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-

VIII [2] встановлено, зокрема, що значення викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел, умовно приведених до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, не повинні перевищувати у 2025 і 2030 роках відповідно 85%, і 70% від базового рівня, визначеного станом на 2015 рік

Аналіз поточного стану державного управління в Україні підвищенням ефективності використання енергії у секторі здійснювалася автором разом з міжнародною групою експертів у роботі [9].

Сьогодні регулювання у сфері в Україні зводиться в основному фіскальними заходами, що на практиці не стимулюють покращення, та системою нормування витрат палива автомобільним транспортом для суб'єктів господарювання.

1.9. Огляд напрямів управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

Політичні опції щодо зменшення питомого споживання енергії транспортом, впроваджені різними країнами, охоплюють, зокрема [68]:

1. Стандарти енергоефективності.

2. Фіскальні заходи.

3. Добровільні програми впровадження заходів з економії, основані на ринку.

4. Інформаційні заходи, що охоплюють, зокрема, маркування показників енергетичної ефективності ДТЗ, покращення операційної ефективності застосуванням екологічно орієнтованого водіння ДТЗ та його використання в цілому, інші заходи.

Розробка пропозицій до національної транспортної політики щодо регулювання викидів CO_2 та споживання енергії дорожнім транспортом в

Україні здійснювалася автором разом із Ніколасом Хіллом і Елізабет Віндіш у роботі [9].

Управління зменшенням забруднення атмосферного повітря здійснюють переважно засобами технічного регулювання допуску транспортних засобів до ринку.

Комплексний підхід до формування транспортної політики мегаполісів розглядався, зокрема, в [69], з врахуванням ефекту «індукованої мобільності». Підкреслено, що розвиток транспортної інфраструктури міст має супроводжуватися, зокрема, регулюванням попиту на автомобільні перевезення.

1.9.1. Технічне регулювання

На рис. 1.15 показано географічне охоплення (основні регіони світу) стандартами щодо викидів шкідливих речовин для легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту.

Етапи впровадження екологічних стандартів для легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту в основних регіонах світу показано на рис. 1.16, а для вантажних автомобілів та автобусів – на рис. 1.17.

Етапи впровадження основних вимог до викидів для нових легкових автомобілів показано на рис. 1.18.

Етапи впровадження вимог до викидів в реальній експлуатації для нових легкових автомобілів показано на рис. 1.19.

Етапи запровадження норм викидів CO_2 для легкових автомобілів та легкої комерційної техніки на рис. 1.20.

Етапи впровадження екологічних вимог та вимог до енергоефективності різними регіонами світу мають враховуватися в національній політиці України у цій сфері, зокрема, в частині вимог до продукції, що потрапляє на вітчизняний ринок.

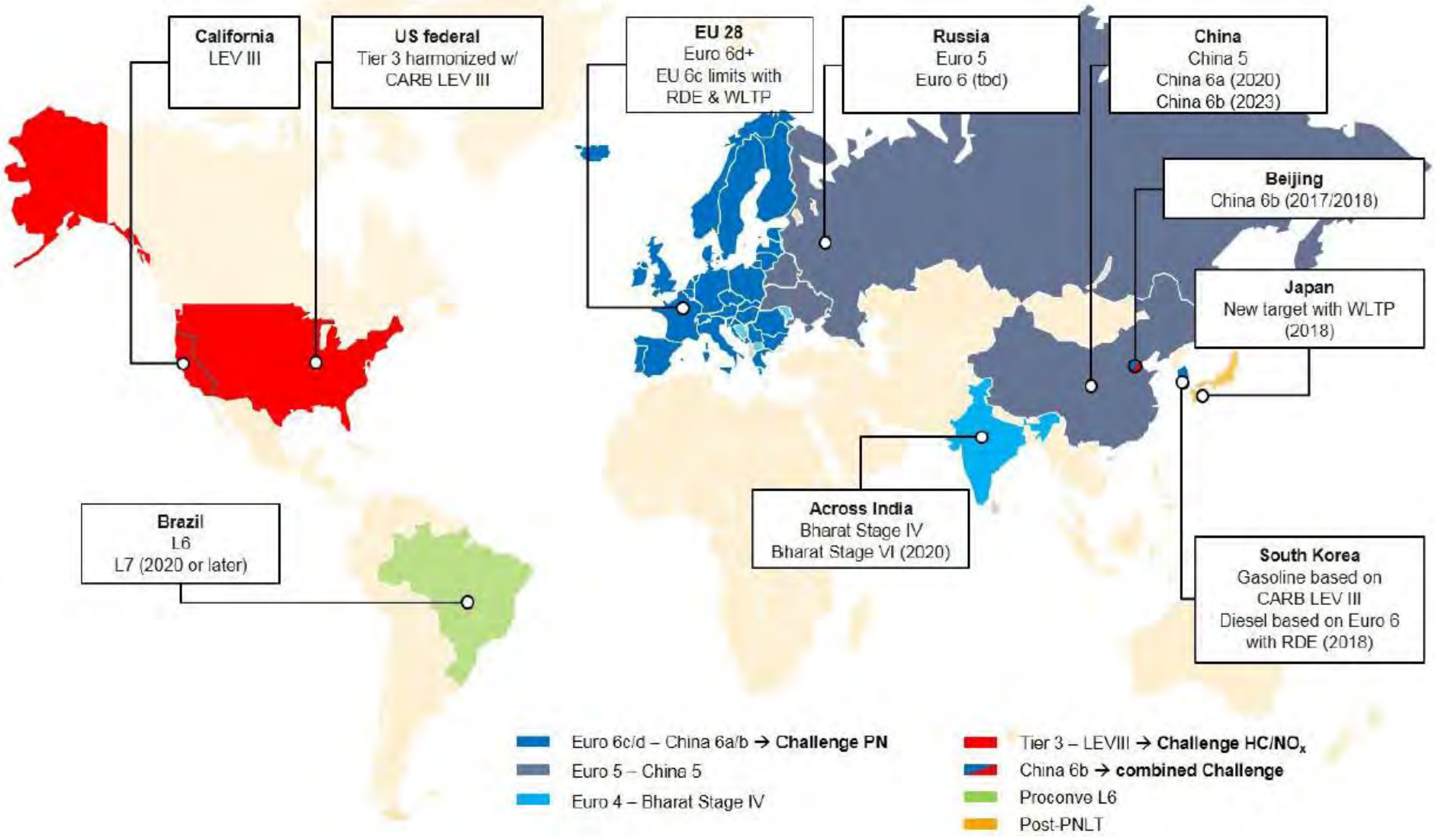


Рисунок 1.15 – Географічне охоплення (основні регіони світу) стандартів на викиди шкідливих речовин для легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту [152]

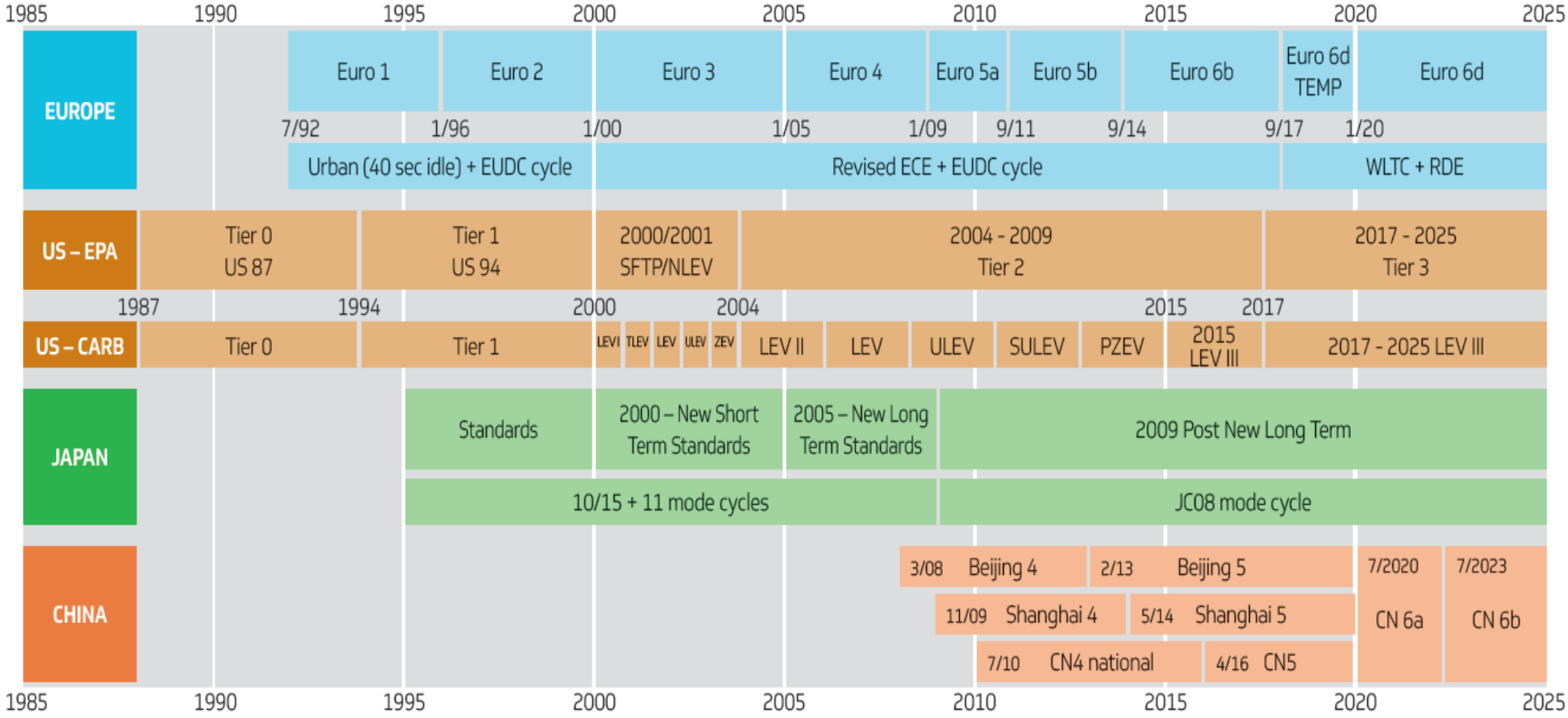
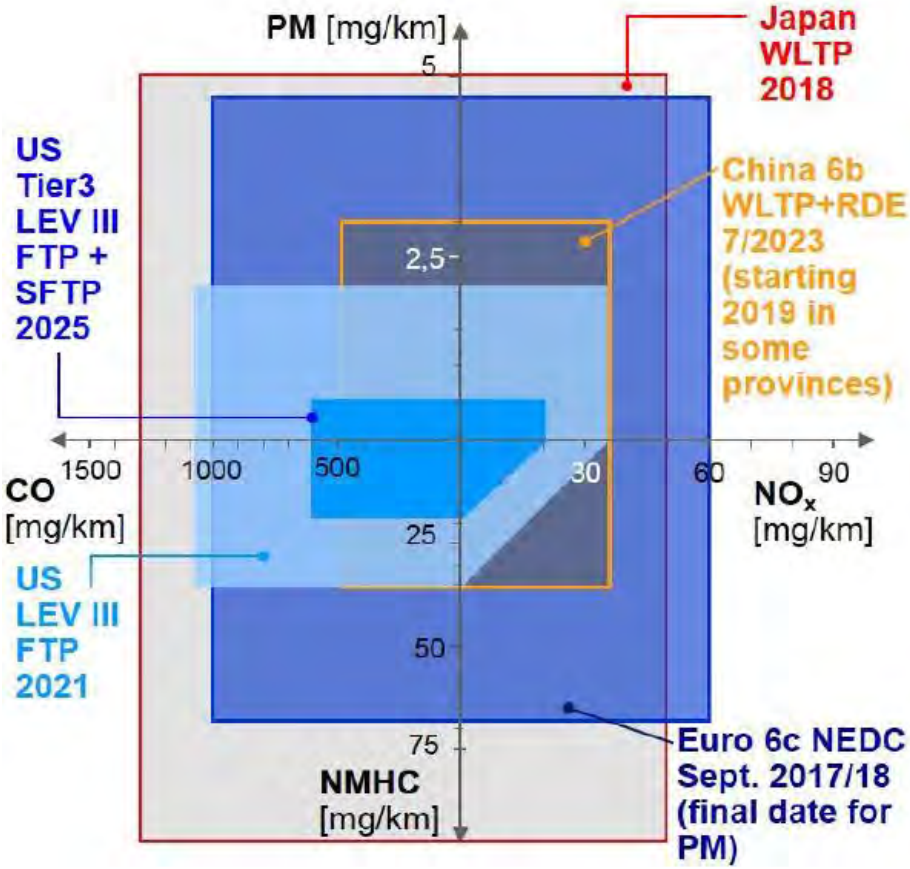
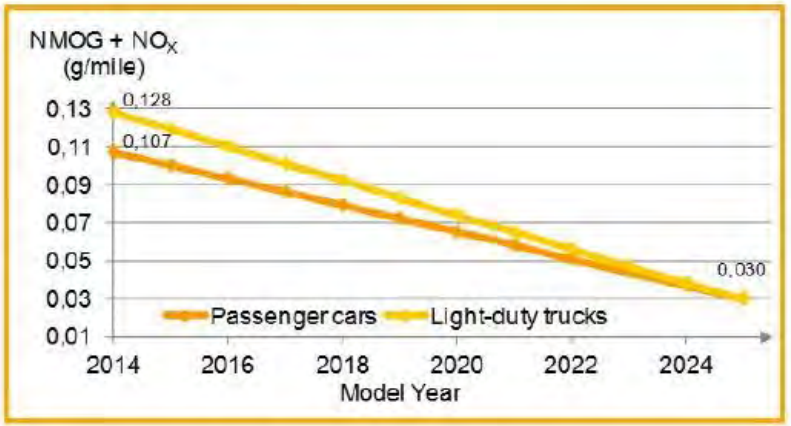


Рисунок 1.16 – Етапи впровадження екологічних стандартів для легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту в основних регіонах світу [153]

Рисунок 1.17 – Етапи впровадження екологічних стандартів для вантажних автомобілів та автобусів в основних регіонах світу [153]

Japan, Europe, China & US
Limits & Phase-In





MY	% of vehicles certified to a 3 mg/mile standard	% of vehicles certified to a 1 mg/mile standard
2017	10	0
2018	20	0
2019	40	0
2020	70	0
2021	100	0
2022	100	0
2023	100	0
2024	100	0
2025	75	25
2026	50	50
2027	25	75
2028	0	100

Phase-In of LEVIII 2017 – 2028

Рисунок 1.18 – Етапи впровадження основних вимог до викидів для нових легкових автомобілів [152]

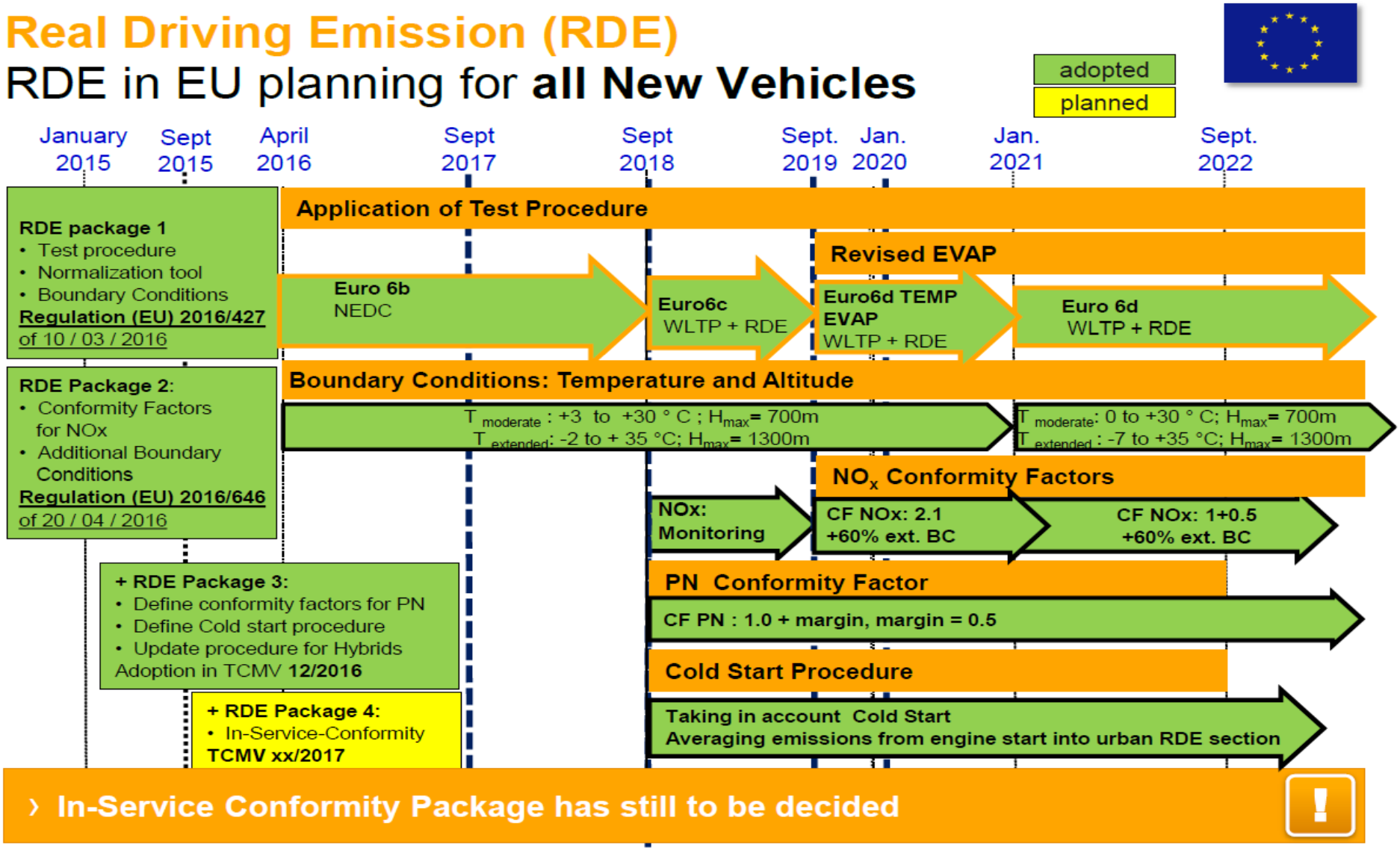


Рисунок 1. 19 – Етапи впровадження вимог до викидів в реальній експлуатації для нових легкових автомобілів в ЄС [152]

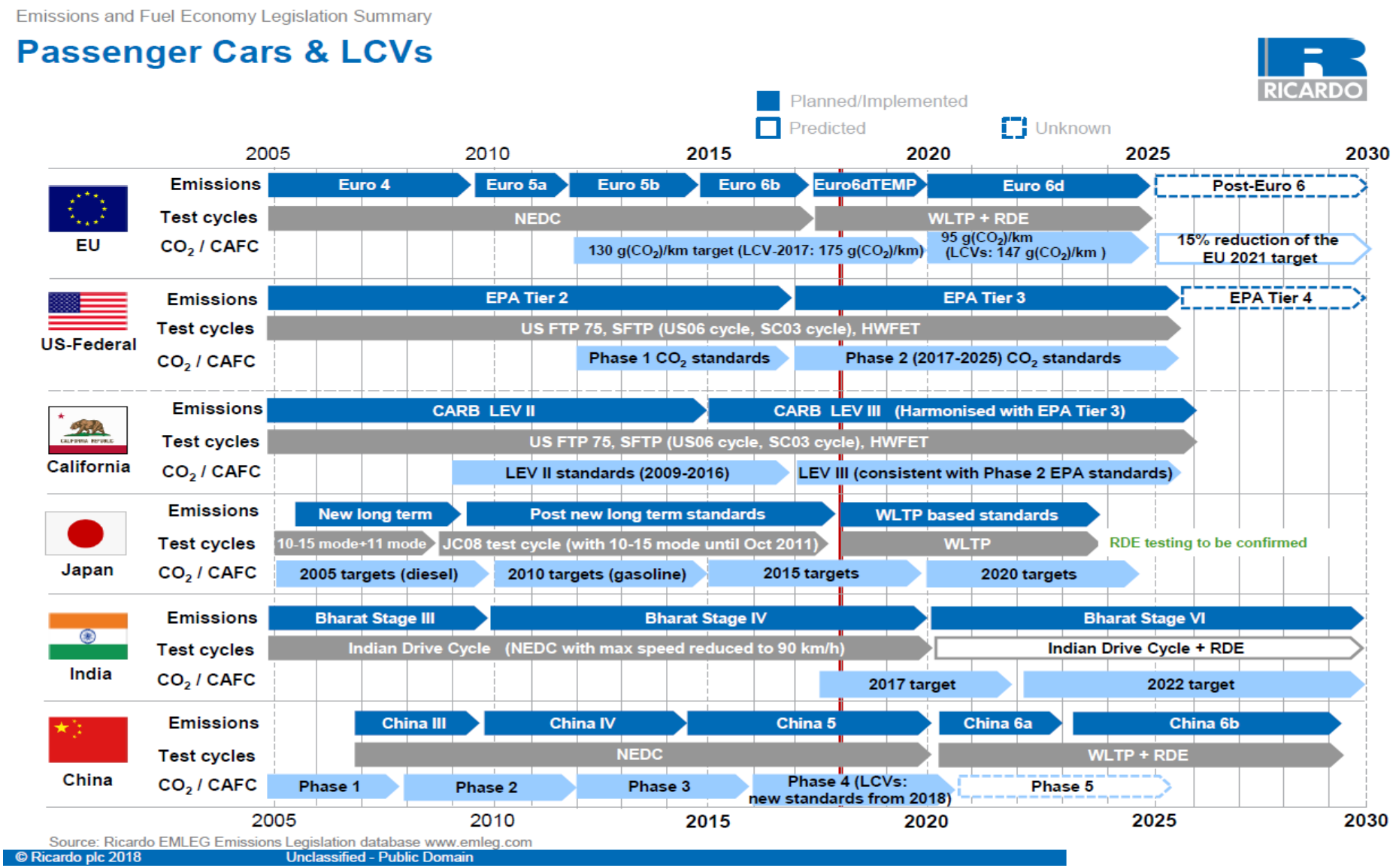


Рисунок 1.20 – Етапи запровадження норм викидів CO_2 для легкових автомобілів та легкої комерційної техніки [154]

Аналіз міжнародних стандартів у цій сфері, питання впровадження міжнародних екологічних вимог до ДТЗ в Україні, аналіз структури парку за екологічними ознаками, питання екологічної класифікації ДТЗ, питання інтеграції України до ЄС у сфері захисту атмосферного повітря від шкідливих викидів автотранспорту розглянуто автором у [70 – 73]. Стислий порівняльний аналіз стандартів ЄС і США у цій сфері надано автором у [74].

1.9.2. Фіскальне регулювання

Питання фіскального регулювання викидів CO_2 автотранспортом в Україні розглянуто, зокрема, в роботах [75, 76, 9]. Також питання розроблення обґрунтованої системи оподаткування транспорту досліджувалось у [77, 78].

Відповідно до міжнародного досвіду регулювання, фіскальні заходи мають доповнювати заходи із технічного регулюванні та інші заходи, що розглянуто нижче.

1.9.3. Екологічне маркування та диференційований доступ до інфраструктури

Аналіз світового досвіду [79 – 151] у сфері екологічного маркування та диференційованого доступу ДТЗ до інфраструктури виокремлено у додаток А.2 через значний обсяг. Вихідні дані, зібрані у додатку А.2, та їх аналіз визначають проблемні питання у цій сфері та обґрунтовують пропозиції щодо напрямів та технологій її вирішення, викладених у розділі 5.

1.9.4. Регулювання імпорту ДТЗ, що були у використанні

Світовий досвід міжнародної торгівлі вживаними автомобілями, свідчить, що результатом цього країни-імпортери мають збільшення викидів

парникових газів та токсичних забруднювальних речовин, споживання палива, та загострення проблем безпеки дорожнього руху. Відповідно до міжнародних торгівельних угод розглядають такі рекомендації щодо державної політики у цій сфері [13]:

1. Прикордонне інспектування: прикордонні інспекції та впровадження сертифікатів щодо впливу на навколишнє середовища та рівня безпеки мають значні переваги порівняно з іншими політичними діями. Вхідні бар'єри орієнтовані виключно на вживану продукцію, що імпортується, та не стосуються всього великого парку вже зареєстрованих в країні ДТЗ. Тому їх легше впровадити та виконати [13].

2. Програми утилізації є ефективним доповненням до вхідних бар’єрів. Транспортні засоби, які не проходять прикордонну інспекцію або не мають сертифікатів щодо охорони навколишнього середовища та безпеки, мають певний часу для ремонту задля дотримання нормативних актів. Якщо вони зазнають невдачі вдруге, їх утилізують [13].

3. Програми інспектування (періодичної оцінки придатності до експлуатації) та примусового технічного обслуговування. Ця політична дія є ще одним хорошим доповненням до прикордонних інспекцій та в'їзних бар'єрів. Якщо їх добре впровадити, такі програми покращують рівень обслуговування національного парку, заохочують оновлення транспортних засобів, зменшують викиди та створюють робочі місця. Однак вони можуть зіткнутися із значним опором громадськості, вимагати спеціалізованого обладнання та вимагати суворого контролю [13].

4. Обов’язкове страхування транспортних засобів є важливим через ризик, який створюють автомобілісти для інших учасників дорожнього руху, та небезпеку, яку несуть автомобілісти для власного здоров’я та життя. Ця небезпека дорожньо-транспортних пригод повинна бути інтегрована, і обов'язкове страхування транспортних засобів є ідеальною політикою для цього. На основі результатів, представлених у дослідженні, настійно

рекомендується країнам здійснити прикордонну інспекцію як перший крок до подолання деяких негативних побічних ефектів старих транспортних засобів, що надходять до національного парку через міжнародну торгівлю [13].

У [13] наведено такі приклади торговельної політики, що використовують країни світу для регулювання імпорту вживаних автомобілів та, відповідно, зменшення шкоди, яку вони завдають, в частині забруднення навколишнього середовища:

– податки за забруднення навколишнього середовища;

– стандарти щодо контролю придатності до експлуатації в частині впливу на довкілля;

– додаткове підтвердження функціювання каталітичного нейтралізатора;

– обмеження щодо окремих допустимих технічних характеристик (наприклад, щодо кількості циліндрів двигуна), або віку (наприклад, заборона імпорту ДТЗ старше 5 років);

– відповідність екологічним вимогам певних стандартів (що діють для цілей затвердження типу ДТЗ);

– повна заборона на імпорт вживаних автомобілів (Китай, Бразилія, Чилі, Колумбія).

1.9.5. Управління в процесі експлуатації транспортного засобу

Вимоги до технічного стану ДТЗ на етапі експлуатації на міжнародному рівні регламентуються Віденською угодою 1997 року, приписами, що діють в її рамках, Директивами Європейського Союзу (в недавньому минулому директиви 2009/40/ЄС і 2010/48/ЄС та директива 2014/45/ЄС що їх замінила), на національному рівні також можуть діяти національні стандарти (в Україні – ДСТУ 4277 і ДСТУ 4276) і технічні регламенти. В теорії, основу цих вимог повинні складати вимоги конструктивної безпеки, яка закладається на етапі проектування і виробництва, зокрема як це регламентовано Правилами ЄЕК

ООН в рамках Женевської угоди 1958 року. Однак це положення багато в чому не виконується на практиці.

Питання забезпечення екологічної безпеки ДТЗ в експлуатації розглянуті в багатьох публікаціях, зокрема в [155]. Відомо, що розукомплектуванням або перепрограмування систем управління роботою двигуна, можливий Істотний, багаторазовий ріст шкідливих викидів [156, 157], [155]. В [155] приділено увагу наступним аспектам. Необхідність регулярного проведення обов'язкового незалежного контролю технічного стану автомобілів за екологічними параметрами обумовлена в тому числі саме специфікою екологічних вимог в експлуатації, яка полягає в тому, що автовласник безпосередньо не зацікавлений в їх дотриманні на відміну від вимог безпеки руху, від яких безпосередньо залежить його життя. При цьому очевидно, що параметри оцінки технічного стану та їх значення повинні бути диференційованим для автомобілів різних екологічних класів. В іншому випадку весь ефект від переходу на більш екологічну техніку буде швидко втрачено [155].

Наведені вище директиви передбачають випробування двигунів на нерухомих ДТЗ. Бензинові двигуни випробовують на режимах холостого ходу, дизелі – на режимі вільного прискорення, що не має нічого спільного з основними експлуатаційними режимами, в яких здійснюється левова частка всіх викидів.

Крім того, опосередкованим підтвердженням непрацездатності в Україні системи контролю технічного стану автомобільного парку за екологічними параметрами є практична відсутність ринку вторинних каталітичних нейтралізаторів.

До управління в експлуатації також відносять:

- організаційні заходи з управління транспортним процесом в цілому;
- техніку управління транспортними засобами («Еко-драйв» тощо);

- технічні заходи, підтримування закладених в конструкцію властивостей в процесі експлуатації дорожніх транспортних засобів (в частині екологічних властивостей та енергоефективності);

- управління на етапі вибору споживачем запасних і витратних частин до транспортного засобу та експлуатаційних матеріалів (зокрема, маркування шин за показниками енергоефективності, безпечності та екологічності);

- нормування експлуатаційних витрат енергії дорожніми транспортними засобами

1.9.6. Управління на етапі утилізації транспортного засобу

Питання утилізації ДТЗ розглянуто, зокрема, в [158 – 168]. Гостро стоїть питання створення ефективної інфраструктури для переробки та утилізації ДТЗ, здатної забезпечити безпечне поводження з відходами. Виконання цієї роботи без дотримання необхідних вимог щодо безпечної утилізації призводить до значних втрат вторинних матеріальних ресурсів, а також до інтенсивного забруднення навколишнього середовища. Відповідно до існуючої в Європі практиці, виробник автомобілів (експортер), як правило, укладає угоди з фірмами-утилізаторами, які беруть на себе відповідальність за утилізацію ДТЗ і забезпечують всі необхідні кроки щодо виконання вимог системи в країні [167].

Вимоги до утилізації автомобілів викладені, зокрема, в директиві 2000/53/ЕС (ELV), директиві 2005/64/ЄС (RRR) щодо затвердження типу дорожніх транспортних засобів стосовно їх повторного використання, вторинної переробки та утилізації, документі 2003/138/ЄС про маркування пластмасових і гумових деталей для цілей утилізації, міжнародному стандарті ISO 22628 щодо проведення розрахунків коефіцієнтів рециклінгу та утилізації автомобілів [167].

У багатьох країнах ЄС, а також в США і Японії система утилізації ДТЗ за роки існування і розвитку з нерентабельною і дотаційною стала практично самоокупною. Розвитку технологій утилізації ДТЗ значно сприяли прийняті в ЄС закони, пов'язані із заборонами розміщення певних автомобільних компонентів і відходів на звалищах, а також з цілями досягнення кількісних рівнів утилізації ВЕТС [167].

За даними [167] середній вік вийшли з експлуатації відслужили транспортних засобів (ВЕТС), по міжнародній термінології ELV, що надходять на утилізацію в Європі, - 15-17 років). За даними [158], середній вік ДТЗ, що надходять на утилізацію в ЄС, становить 16 років.

Нідерланди створили одну з найбільш ефективних систем утилізації ДТЗ в світі, що забезпечує утилізацію на 95%, і вторинну переробку матеріалів на 85%. Всього в світі працює понад 700 шредерних заводів, здатних виробляти 25 мільйонів тон сталевого брухту на рік. Більше 300 шредерних заводів в країнах ЄС виробляють понад 10 мільйонів тон сталевого брухту на рік [167].

З одного легкового автомобіля в рік на переробку надходить в середньому одна шина середньою вагою близько 9 кг. За час експлуатації автомобіля заміна всієї автогуми проводиться 4-5 разів, і загальний обсяг зношених шин, що надходять у продаж або на переробку, за цей період становить близько 140 кг з кожного легкового автомобіля [158].

Утилізація ДТЗ дозволяє знизити витрати природних ресурсів майже в 4,5 рази, що для одного автомобіля становить економію приблизно 3,3 т, і дозволяє заощадити 56 ГДж енергії. За рахунок повторного використання матеріалів в нових ДТЗ викиди шкідливих речовин в повному життєвому циклі знижуються приблизно на 2 т [164]. В результаті утилізації ДТЗ, що виведено з експлуатації, сума запобігання шкоди від забруднення навколишнього середовища і зниження витрат на електроенергію перевищує витрати на утилізацію більше, ніж в 7 разів [164].

Повний облік негативного впливу продукції на навколишнє природнє середовище передбачено в методиці оцінки повного життєвого циклу за стандартами ISO 14040-14043. Вона включає всі стадії життєвого циклу: видобуток сировини, отримання конструкційних і експлуатаційних матеріалів, виготовлення деталей і вузлів, складання, експлуатацію, розбирання і утилізацію. Однак дані стандарти носять "рамковий" характер. Їх не можна безпосередньо використовувати для оцінки конкретного виду продукції, зокрема, автомобілів [168]. За даними [168] рециклювання 75% конструкційних матеріалів вантажного автомобіля масою 3200 кг зменшує потребу в сировині ресурсів і витрата енергії на стадії виробництва конструкційних матеріалів відповідно в 6,5 і 2,8 рази, а збитки від забруднення атмосфери - в 1,8 рази.

1.10. Огляд окремих, найбільш істотних проблем, що потребують вирішення для впровадження ефективного державного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

1.10.1. «Поза-циклові» викиди

Основною проблемою технічного регулювання є «поза-циклові викиди», тобто невідповідність існуючих стандартизованих показників ефективності споживання енергії та викидів забруднювальних речовин споживанню енергії та забрудненню довкілля в умовах реальної експлуатації

Невідповідність реального споживання моторних палив рекламним проспектам автовиробників зазначають в багатьох джерелах. Зокрема, гібриди, за результатами випробування показали дуже істотне перевищення заявлених значень, наприклад: Toyota Prius - на 37%, Honda Civic Hybrid - на 44%, Lexus RX - на 48%, а Opel Ampera - на 225% [59].

Випробування в умовах, наближених до реального використання PHEV, показують, що вони не дають переваг. Отримані значення витрати палива на 20-40% більше очікуваних значень, а можлива економія, що отримується рекуперативним гальмуванням і «оптимізацією експлуатаційних режимів двигуна», повністю нівелюється збільшенням маси автомобіля за рахунок батареї і додаткових компонентів [59].

За результатами дорожніх випробувань значення викидів BMW були на рівні або нижче нормативних значень, викиди Volkswagen Jetta показали 15-35-кратне перевищення норм, викиди Volkswagen Passat перевищили гранично допустимі значення в 5-20 разів. У реальній експлуатації Volkswagen не вдалося забезпечити відповідність нормативним вимогам щодо викидів оксидів азоту (NOx) в поєднанні з хорошими економічними показниками, тому з 2010 року концерн почав практикувати використання відверто шахрайського програмного забезпечення, що передбачає перемикання з режиму «високий викид оксидів азоту - низька витрата палива» на режим «низький викид NOx» в момент, коли система управління автомобілем фіксувала, що автомобіль знаходиться на випробувальному стенді. У 2014 році Volkswagen зареєструвався в системі Cafe (Corporate Average Fuel Economy) с оголошеними параметрами паливної економічності 34-38 миль на галон, що дозволило йому отримати право на скасування мит в США [169].

Практика обходу встановлених екологічних вимог, ймовірно, носить системний характер і почалася не з Volkswagen. У 1998 році Caterpillar і Cummins провели випробування по визначенню шкідливих викидів в реальних умовах експлуатації з використанням портативних систем контролю викидів (PEMS) в рамках угоди з Департаментом юстиції США. За результатами дослідження виробники змушені були виплатити 83,4 млн доларів в якості штрафу за використання так званих блокуючих технологій (defeat strategies). У 2011 році Об'єднаний дослідницький центр Єврокомісії (JRC) провів випробування вибірки легкових автомобілів з дизелями рівня

«Євро-5» і з'ясував, що всі випробувані автомобілі істотно перевищують встановлені граничні значення [169].

Для вирішення цієї проблеми в законодавство впроваджені процедури контролю викидів автомобілями в реальних умовах експлуатації (Real Driving Emission - RDE).

[170] наводить дані, що в порівнянні з реальними умовами експлуатації, в паспортних даних європейські виробники автомобілів занижують витрати на 15 ... 20%, японські - на 10 ... 15%, а американські - на 5 ... 10%.

У 2014 році Міжнародна рада по чистому транспорту (ICCT), ґрунтуючись на вивченні більш ніж півмільйона автомобілів 13 модельних років по всій Європі, опублікувала дані що різниця між офіційними і реальними цифрами витрати палива досягла в середньому 38%, в той час як в 2004 році вона становила лише 10% [170].

Сучасні їздові цикли, які визначально розроблялися для оцінки саме екологічних характеристик автомобілів, не в повній мірі відображають специфіку руху сучасних транспортних засобів в реальних умовах експлуатації. Перехід від європейського циклу NEDC до всесвітнього циклу за тестовою процедурою WLTP мав вирішити цю проблему. Однак існує думка, що WLTP за витратою палива (та емісією CO_2) у значній мірі є наближеним до NEDC. Крім того, компетентні американські фахівці вважають, що WLTP - крок назад у порівнянні з циклом FTP-75 [170].

Агрегування даних щодо майже 600 000 автомобілів з одинадцяти джерел даних та шести країн світу показують чітку тенденцію з плином часу, а саме розбіжність між реальним споживанням палива і викидами CO2 з офіційними показниками. Ця розбіжність зросла приблизно з 8 відсотків у 2001 році до 40 відсотків у 2014 році (рис. 1.21) [171].

На рис. 1.22. показано розподіл розбіжностей між даними «Spritmonitor.de» та офіційними значеннями споживання пального (порівняння даних за 2001, 2011 та 2014 роки).

В [172] наведено (рис. 1.23) порівняння офіційних та реальних даних щодо зменшення викидів CO_2 в ЄС легковими автомобілями. Відповідно, в реальному житті не відбувається покращення показників паливної економічності ДТЗ, встановлених стандартами та отриманих виробниками в лабораторіях.

На рис. 1.24 показано розбіжність між аналітичними даними «WhatCar?» та офіційними значеннями викидів CO2 за 2012-2014 роки для різних типів легкових автомобілів [171]. На рис. 1.25 показано розбіжність між офіційними викидами NOx в їздовому циклі в лабораторії та реальними викидами в експлуатації [42].

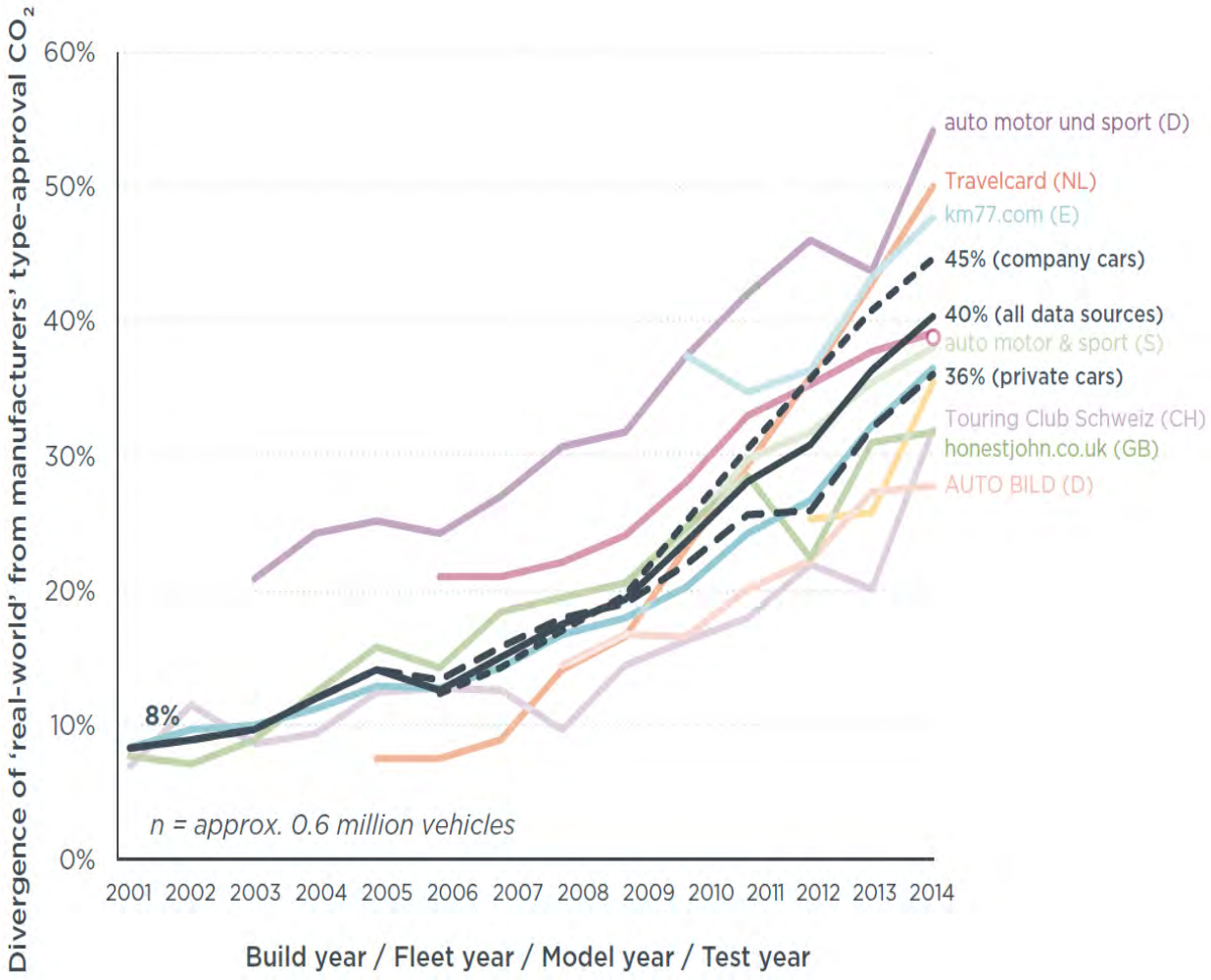


Рисунок 1.21 – Розбіжність між реальними викидами CO_2 та офіційними даними автовиробників [171]

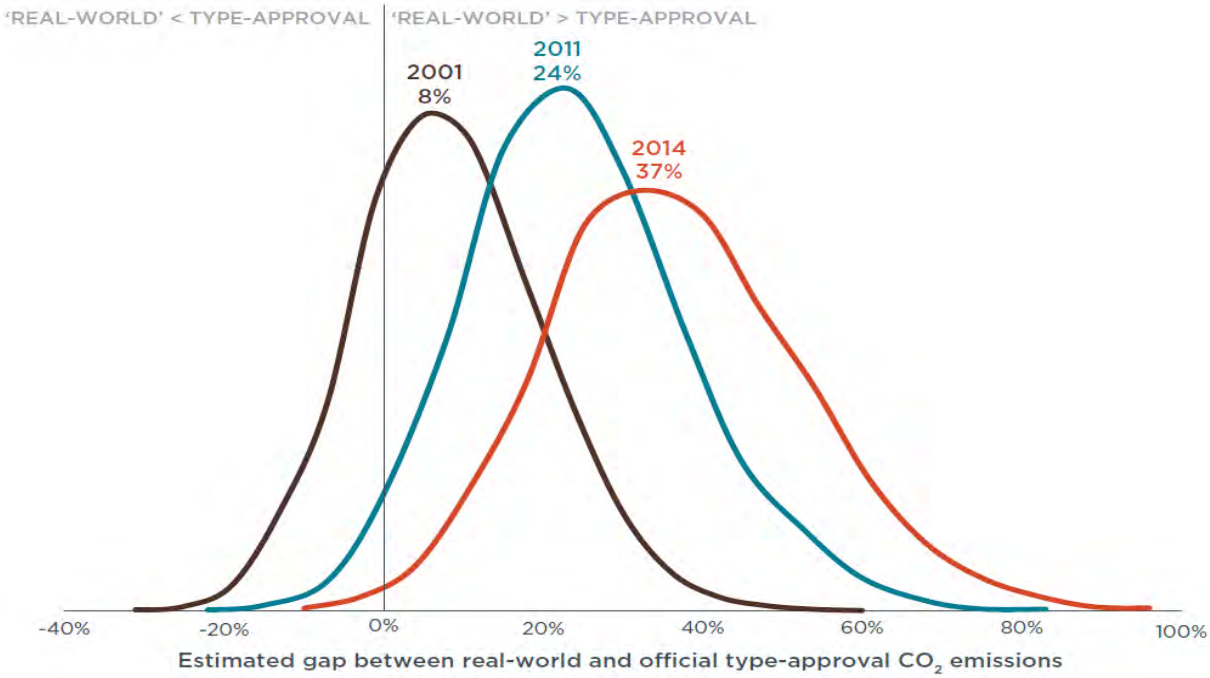


Рисунок 1.22 – Розподіл розбіжностей між даними «Spritmonitor.de» та офіційними значеннями споживання пального (порівняння даних за 2001, 2011 та 2014 роки) [171]

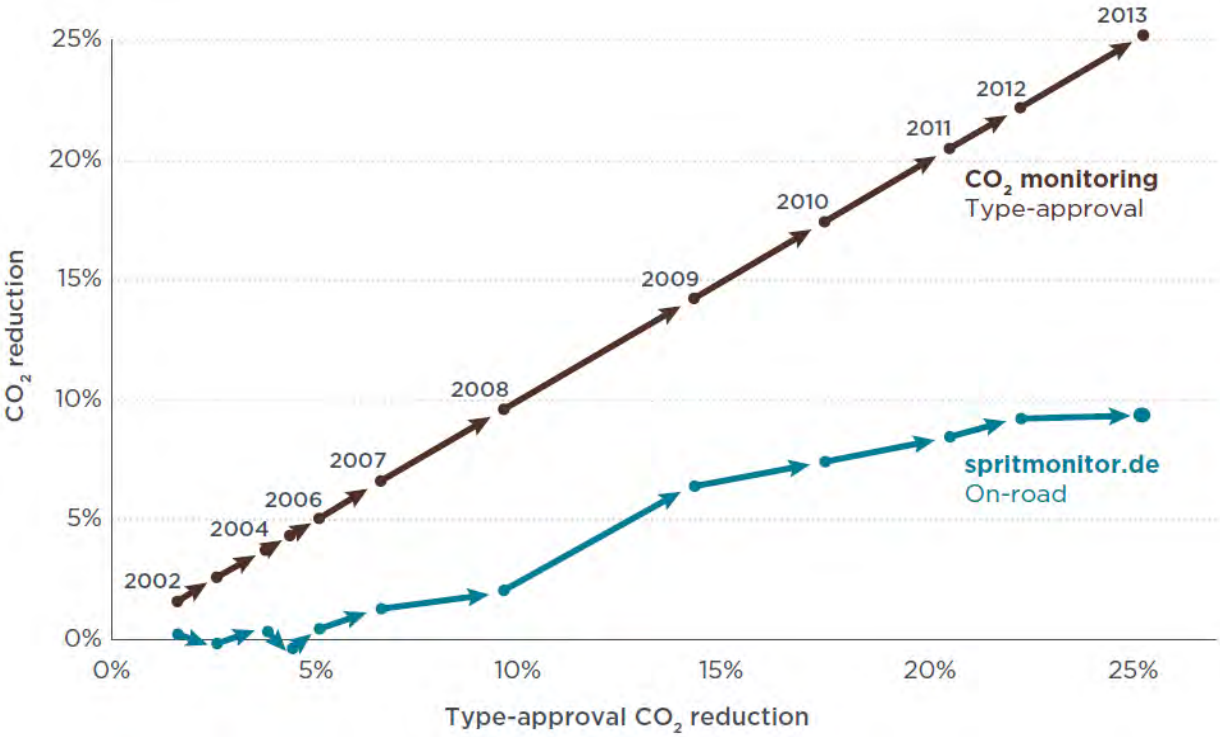


Рисунок 1.23 – Офіційні та реальні дані щодо зменшення викидів CO_2 в ЄС легковими автомобілями. [172]

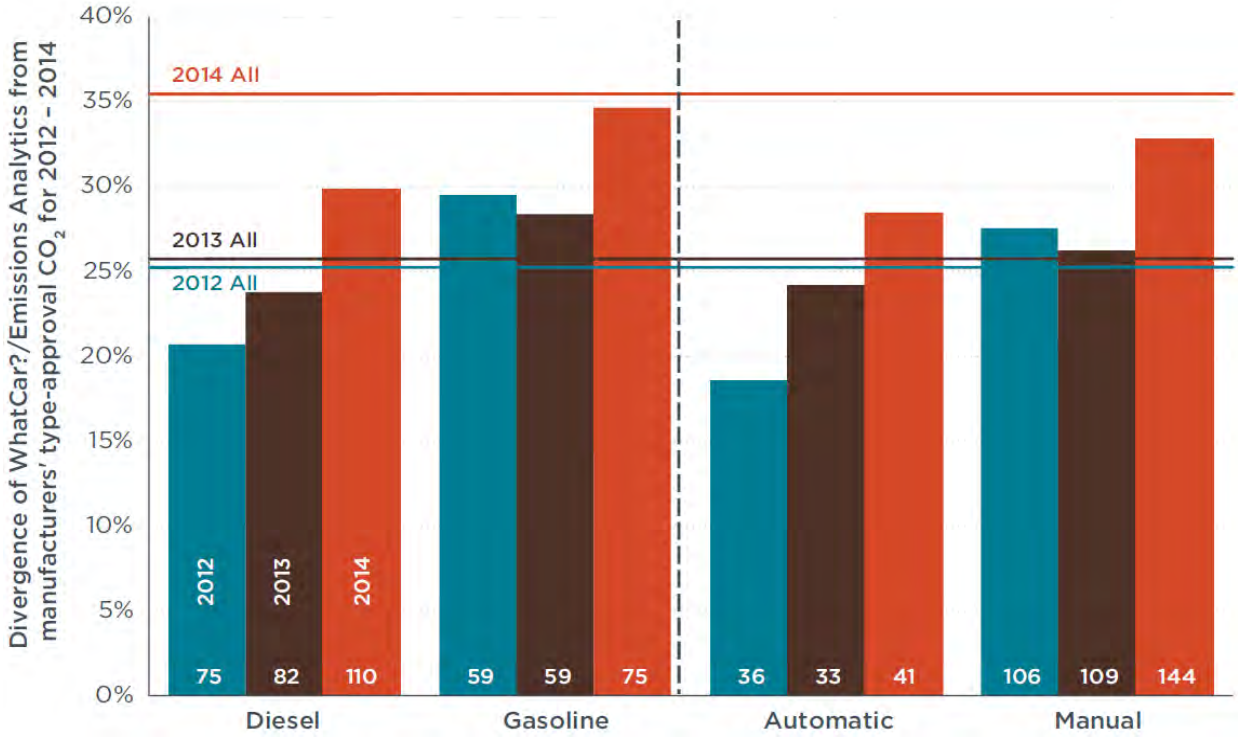


Рисунок 1.24 – Розбіжність між аналітичними даними «WhatCar?» та офіційними значеннями викидів CO2 за 2012-2014 роки для різних типів легкових автомобілів [171]

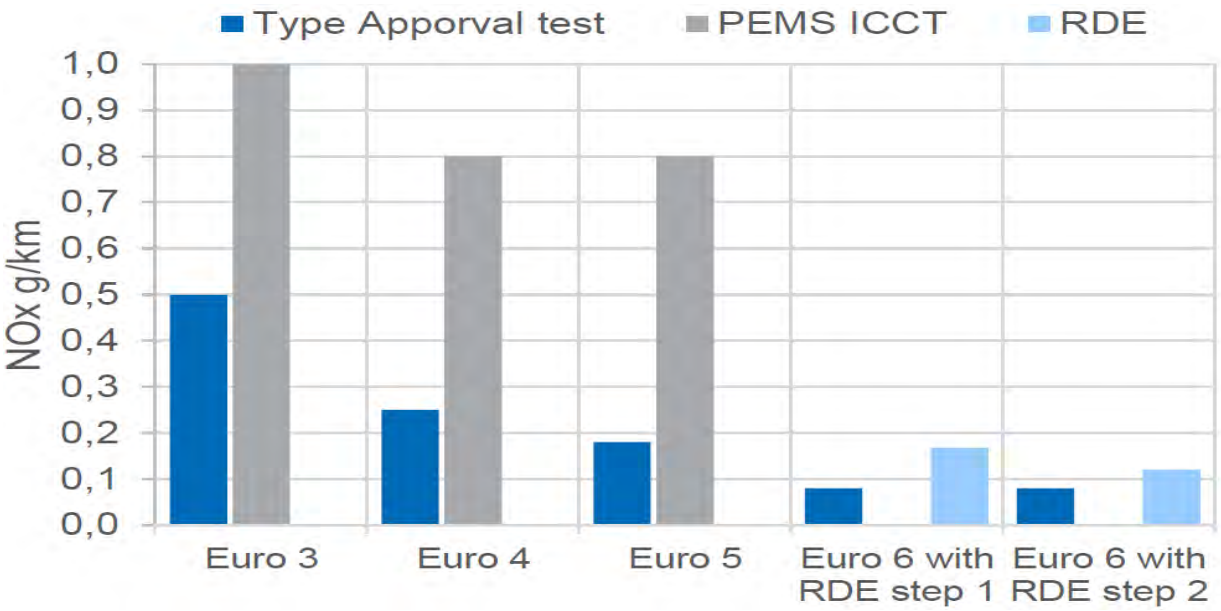


Рисунок 1.25 – Розбіжність між офіційними викидами NOx легковими автомобілям з дизелями екологічного рівня «Євро-3», «Євро-4», «Євро-5», «Євро-6», отриманими в стандартизованому їздовому циклі в лабораторії, та реальними викидами в експлуатації [42]

Розбіжність між офіційними викидами NOx двигунів вантажних автомобілів з дизелями рівня «Євро-4» і «Євро-5», отриманими в стандартизованому моторному циклі в лабораторії, та реальними викидами в експлуатації, показано, відповідно, на рис. 1.26 і рис. 1.27 [173]. Значне перевищення викидів в міських умовах зумовлено низькою температурою та, відповідно, ефективністю системи селективної каталітичної нейтралізації викидів оксидів азоту (системи SCR) [173].

1.10.2. Несумісність стандартів та вимог різних ринків

Другою глобальною проблемою є несумісність стандартів та вимог різних ринків.

Спроба отримати кореляційні коефіцієнти для переведення значень викидів оксидів азоту (NOx) і частинок (PM), отриманих за методиками випробувань, що застосовуються в США і Японії, до європейських, була здійснена, зокрема у [174], але отримані результати стосуються дуже обмеженої вибірки транспортних засобів та в цілому не є переконливими.

1.10.3. Протиріччя різних вимог до конструкції транспортних засобів

Наприклад, вимоги до підвищення паливної економічності ДТЗ входять у протиріччя з вимогами до зменшення викидів оксидів азоту. Зменшення конструктивної маси має негативними наслідками зменшення рівня безпеки та комфорту.

Також в Україні потребують вирішення проблеми:

- доступу до сучасних технологій визначення відповідності транспортних засобів та їх двигунів встановленим вимогам з енергоефективності та екологічним вимогам;

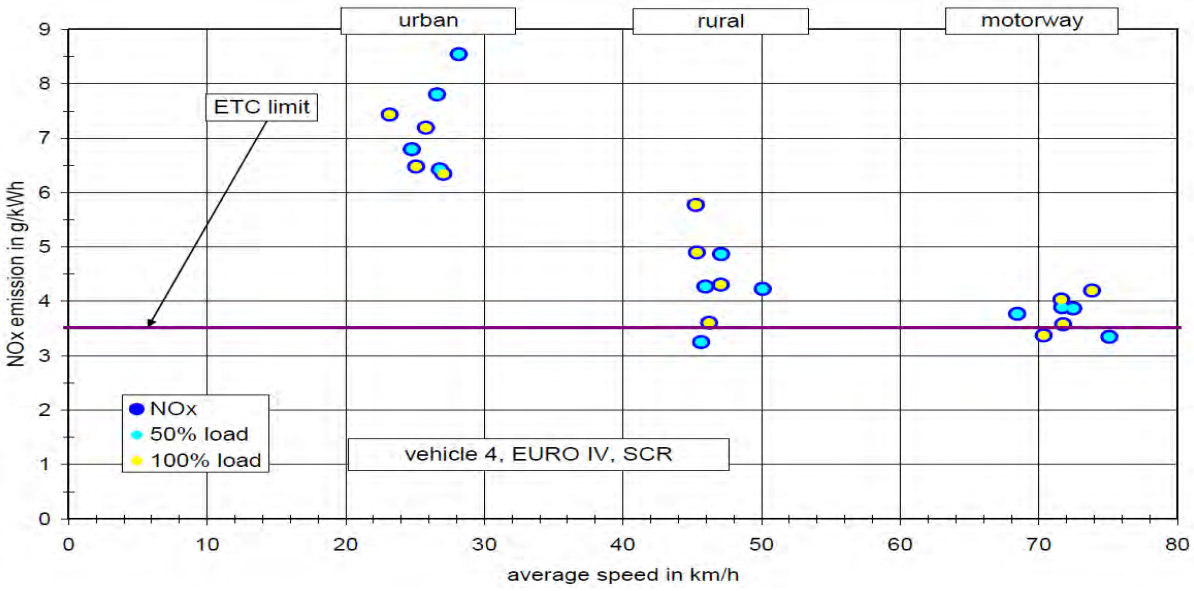


Рисунок 1.26 – Розбіжність між офіційними викидами NOx двигунів вантажних автомобілів з дизелями рівня «Євро-4», отриманими в стандартизованому моторному циклі в лабораторії, та реальними викидами в експлуатації [173]

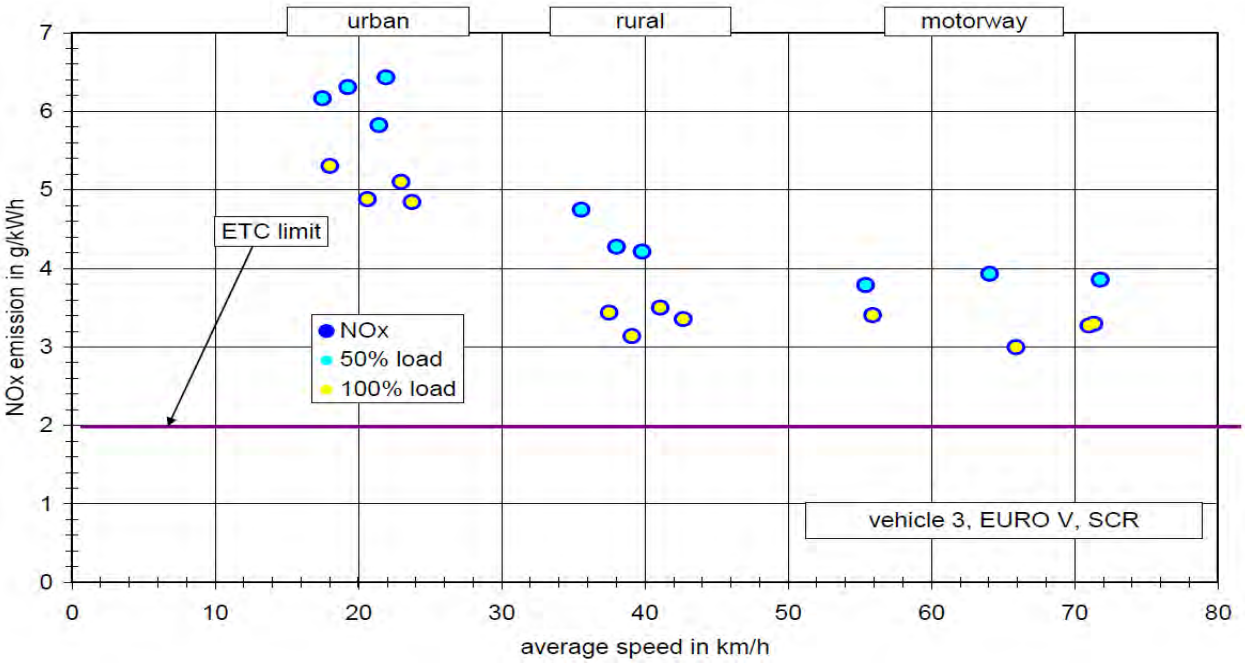


Рисунок 1.27 – Розбіжність між офіційними викидами NOx двигунів вантажних автомобілів з дизелями рівня «Євро-5», отриманими в стандартизованому моторному циклі в лабораторії, та реальними викидами в експлуатації [173]

- регулювання масового ввезення та подальшої експлуатації транспортних засобів з деградованими системами зниження викидів забруднювальних речовин, що становлять підвищену екологічну та інші види небезпеки;

- підтримання в експлуатації рівня енергетичної ефективності та екологічного рівня, закладеного в конструкцію транспортного засобу та розроблення ефективних і доступних для масового використання технологій інструментального контролю придатності до експлуатації в частині масових викидів забруднювальних речовин;

- супроводження системи нормування витрат палива транспортними засобами.

1.11. Висновки до розділу 1

1. Щодо актуальності напряму дослідження:

1.1. Автомобільний транспорт є основним споживачем моторних палив нафтового походження, що є питанням національної енергетичної безпеки.

1.2. Висока вартість існуючих джерел енергії для автомобільного транспорту та відносно високі показники її питомого споживання є факторами, що стримують сталий розвиток як транспортної галузі, так і в цілому економіки країни.

1.3. Існують передумови для зростання в перспективі відносної частки автомобільного транспорту в загальному споживанні енергії економікою країни та викидах парникових газів.

1.4. Зростання викидів парникових газів автомобільним транспортом є значною проблемою на шляху виконання міжнародних зобов‘язань України у сфері зміни клімату.

1.5. Автомобільний транспорт є визначальним забруднювачем атмосферного повітря в місцях масового зосередження людей. Забруднення

атмосферного повітря багатьох міст України токсичними викидами від дорожнього транспорту має ознаки екологічної катастрофи, що зумовлює дуже негативні соціальні наслідки та значні макроекономічні втрати. Останніми роками створено негативні передумови для подальшого погіршення цієї ситуації.

1.6. В цілому існують значні та досі не використані резерви зменшення питомого споживання енергії та забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом в Україні.

1.7. Таким чином, підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами є важливою державною проблемою, що потребує вирішення.

1.8. Міжнародний досвід свідчить про необхідність впровадження в Україні комплексного і системного управління вирішенням цієї проблеми на рівні держави з врахуванням національних умов, що є актуальним напрямом дослідження.

2. Аналіз міжнародного досвіду щодо напрямів і підходів до управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами свідчить про:

2.1. Відсутність єдиного підходу до систематизації напрямів управління.

2.2. Доцільність розглядання напрямів управління та відповідних ним заходів крізь призму таких етапів життєвого циклу транспортного засобу, як: виробництво, перший допуск до експлуатації, вибір споживачем транспортного засобу (під час придбання), експлуатація, утилізація.

2.3. На етапі виробництва та першого допуску до експлуатації різні країни світу застосовують принципово різні заходи технічного регулювання, у тому числі шляхом встановлення норм, в поєднанні з великим розмаїттям економічних інструментів та підходів.

2.4. На етапі вибору споживачем транспортного засобу (під час придбання, за наявності на ринку різних доступних альтернатив) широко

використовують фіскальне регулювання та маркування дорожніх транспортних засобів за ефективністю використання енергії та викидами парникових газів. Маркування дорожніх транспортних засобів за екологічним рівнем (викидами токсичних забруднювальних речовин) застосовують як додатковий стимул під час прийняття споживачем рішення через диференційовані за екологічним рівнем та іншими критеріями оподаткування, вартість користування інфраструктурою, та доступ до інфраструктури. Існує велике розмаїття підходів до управління на цьому етапі.

2.5. Впровадження диференційованих умов доступу транспорту до інфраструктури, у тому числі – екологічних зон в містах, може бути ефективним шляхом зменшення локального забруднення довкілля та інших видів негативного впливу транспорту на довкілля.

2.6. В процесі експлуатації дорожніх транспортних засобів зосереджені істотні резерви зменшення споживання енергії та забруднення довкілля транспортом. Відповідні різноманітні організаційні і технічні заходи у цій сфері набули широкого використання у світі. Однак в Україні цей потенціал значною мірою ще не реалізований.

2.7. Заходи з відповідного управління на етапі утилізації транспортного засобу та його змінних складових також мають бути прийнятими до уваги, особливо в контексті розвитку та впровадження на ринку технологій електричного приводу (проблеми утилізації тягових електричних батарей тощо).

3. Методологія визначення ефективності використання енергії та забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами має враховувати основні етапи життєвих циклів транспортного засобу та енергетичних ресурсів, а також просторовий розподіл викидів забруднювальних речовин по етапах життєвого циклу.

4. Аналіз поточного стану державного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного

повітря дорожніми транспортними засобами свідчить про відсутність на даний час системного підходу до вирішення цієї проблеми, відсутність дійових механізмів, послідовних і достатньо ефективних заходів задля її вирішення. Розроблення наукових засад та технологічного забезпечення практичного впровадження заходів за напрямом вдосконалення управління в цій сфері є перспективним для України з огляду на в цілому позитивний міжнародний досвід.

5. Визначення пріоритетних напрямів управління у цій сфері має базуватися на багатокритеріальному аналізі основних можливих напрямів з врахуванням умов, можливостей та національних особливостей України, а також проблемних питань та аспектів, викладених нижче.

6. На підставі проведеного аналізу слід відокремити наступні, найбільш істотні проблеми та аспекти, що потребують розв’язання та врахування для впровадження ефективного державного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами:

6.1. Проблема «поза-циклових викидів» та невідповідності існуючих стандартизованих показників ефективності споживання енергії та викидів забруднювальних речовин споживанню енергії та забрудненню довкілля в умовах реальної експлуатації в значній мірі нівелює зусилля урядів країн світу за напрямом технічного і фіскального регулювання енергетичної ефективності та викидів забруднювальних речовин транспортними засобами, а також певною мірою стримує просування новітніх технологій на ринку.

6.2. Проблема несумісності стандартів та вимог різних ринків, з яких транспортні засоби імпортують в Україну, істотно ускладнює впровадження «в одній системі координат» відповідного технічного і фіскального регулювання в умовах України.

6.3. Проблема несумісності вимог різних країн (у тому числі між країнами-членами ЄС) в частині екологічного маркування ДТЗ та диференційованих умов доступу до інфраструктури.

6.4. Вимоги до енергетичної ефективності, обмеження питомих викидів забруднювальних речовин, вимоги до конструктивної безпечності транспортних засобів, а також вимоги ринку до їх окремих споживчих властивостей, є у певній мірі суперечливими. Протиріччя різних вимог до конструкції транспортних засобів накладає певні обмеження щодо принципових можливостей та доцільних меж регулювання у визначеній сфері.

6.5. Супроводження системи нормування витрат палива транспортними засобами, що є ефективним інструментом зменшення споживання енергетичних ресурсів, потребує вирішення низькі проблемних питань, у тому числі в частині розроблення базових лінійних норм витрати палива в умовах дефіциту вихідних даних.

6.6. Визначення ефективності використання енергії електромобілями, plug-in гібридами, та їх порівняння з транспортними засобами з двигунами внутрішнього згоряння має здійснюватися з врахуванням споживання енергії та викидів забруднювальних речовин в життєвому циклі.

6.7. Вирішення проблеми отримання доступу країни до сучасних технологій та відповідного високотехнологічного обладнання для визначення відповідності транспортних засобів та їх двигунів встановленим вимогам з енергоефективності та екологічним вимогам відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів потребує значних фінансових ресурсів, що, в поточних умовах, є значним технологічним бар‘єром для країни.

6.8. Є значною проблема регулювання масового ввезення та подальшої експлуатації транспортних засобів з деградованими системами зниження викидів забруднювальних речовин, що становлять підвищену екологічну та інші види небезпеки.

6.9. Проблема підтримання в експлуатації екологічного рівня та рівня енергетичної ефективності, закладеного в конструкцію транспортного засобу, має важливе практичне значення, пов‘язане з необхідністю вирішення низькі проблемних питань, зокрема, в частині відсутності дійової системи перевірки дорожніх транспортних засобів на придатність до експлуатації та адекватних інструментальних методів контролю рівня екологічної безпеки в умовах експлуатації транспортних засобів сучасних конструкцій.

6.10. Загальна проблема обмеженості ресурсів. Наявні в країні ресурси є недостатніми для впровадження багатьох заходів зі зменшення споживання енергії та забруднення довкілля дорожніми транспортними засобами, що застосовують технологічно розвинені країни світу. Також має бути врахований відтермінований та інтегральний характер ефекту від впровадження багатьох заходів зі зменшення споживання енергії та забруднення довкілля дорожніми транспортними засобами. Відповідно, виникає потреба у вирішенні завдання оптимізації наявних ресурсів країни за напрямами і окремими заходами та за їх розподілом у часі.

7. В цілому існує необхідність в розробленні та практичному запровадженні в Україні комплексного, системного підходу до державного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами, що і зумовлює напрям дисертаційного дослідження.

1.12. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами шляхом системного управління.

Відповідно до поставленої мети у роботі вирішуються в єдиній системі такі взаємно пов‘язані завдання:

1. Розроблення концепції, системи, що її реалізує, математичного апарату та математичних моделей системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами (розділ 2).

2. Визначення оптимальних напрямів і меж доцільного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні (розділ 3).

3. Розвиток технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами (розділ 4).

4. Розроблення основ прогресивної системи регулювання істотних екологічних властивостей дорожніх транспортних засобами разом із системою показників ефективності використання енергії та рівня екологічної небезпеки (розділ 5).

5. Підвищення ефективності використання енергії та забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами вдосконаленням системи нормування та управління витратами енергії в експлуатації (розділ 6).

6. Вирішення комплексу пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря (розділ 7).

7. Розроблення рекомендацій щодо комплексного подальшого впровадження та розвитку розроблених у роботі системних підходів і технологій, що забезпечують системне управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

РОЗДІЛ 2.
КОНЦЕПЦІЯ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ЗАБРУДНЕННЯМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

2.1. Огляд підходів до системного управління у визначеній сфері

Теорії систем і системному підходу до вирішення складних задач присвячено велику кількість робіт, зокрема [175 – 188]. Загальна теорія систем була запропонована Л. фон Берталанфі, її співзасновником є також Кеннет Еварт Боулдінг. Подальший розвиток та нові підходи до загальної теорії систем пов’язані з, зокрема, такими науковцями як М. Месарович, Л. Заде, Р. Акофф, та багатьма іншими, як в частині розробці логіко-концептуального і математичного апарату системних досліджень, так і розвитку теорії систем стосовно вирішення конкретних суспільно значимих проблем і різноманітних практичних завдань в різних сферах діяльності.

Системний підхід застосований у практичному вирішенні проблем зменшення шкідливих викидів та споживання палив автомобілями шляхом оптимізації конструктивних та експлуатаційних факторів у роботах докт. техн. наук Ю.Ф. Гутаревича, зокрема, у дисертаційному дослідженні [189], з викладенням окремих теоретичних положень і результатів також у [190 – 193], де було вперше досліджено токсичність автомобілів в експлуатаційних умовах з використанням системного підходу.

В цілому, в Національному транспортному університеті створено наукову школу, в рамках якої вирішено сотні різноманітних проблем оптимізації технічних та організаційних рішень у сфері вдосконалення конструкції автомобільних двигунів та автомобілів, вирішення

оптимізаційних завдань, технічної експлуатації, дослідження використання альтернативних моторних палив та інше.

Загальна методологія оцінювання екологічної безпеки ДТЗ за критеріями ефективності використання палив та рівня забруднення середовища з врахуванням призначення та умов експлуатації отримала розвиток у роботах д.т.н. В.П. Матейчика, зокрема [194 – 210].

Теоретичний розвиток та узагальнення методів системного аналізу властивостей автомобільної техніки було здійснено, зокрема, у роботах д.т.н. М.Ф.Дмитриченка, Е.В.Гаврилова, О.Т.Ланового, В.П.Матейчика, В.К.Долі, Линника І.Е., Поліщука В.П., Четверухіна Б.М., О.К.Грищука, М.П.Цюмана та інших, зокрема, [211, 212], М.Я. Говорущенка, А.М.Туренка, В.М. Варфоломеева [213 – 219].

Аналіз перспектив розвитку технічної експлуатації з використанням інформаційно-комунікаційних технологій у середовищі інтелектуальних транспортних систем здійснено д.т.н. В.П.Волковим, В.П.Матейчиком, И.В.Грицуком, Ю.В.Волковим, зокрема, у роботі [220].

Системний підхід отримав розвиток, або був використаний в тій чи іншій мірі як інструмент у багатьох інших дослідженнях, зокрема, для: вирішення ділових і промислових завдань [221] (С.Л.Оптнер); аналізу навколишнього середовища [222] (Р.Пэнтл); побудови д.т.н. А.Н.Островцевим загальної теорії надійності автомобіля [223]; дослідження закономірностей руху автомобіля [224] (д.т.н. Г.Б.Безбородова, В.Г.Галушко); створення методології порівняльній оцінці транспортного засобу в життєвому циклі [225]; дослідження питань промислово-транспортної екології [226] (д.т.н. Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, к.т.н. А.Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мержиєвська), [227] (В.Н.Луканин, Ю.В.Трофименко); розроблення наукових основ стратегій розвитку виробничих систем автомобільного транспорту [228] (д.т.н. В.В. Біліченко); дослідження ефективності гальмування транспортних засобів [229] (д.т.н. О.В. Сараєв); дослідження

температурного режиму агрегатів трансмісії [230] (д.т.н. А.С.Терехов); розвитку теорії експлуатаційних властивостей автотранспортних засобів [231] (д.т.н. В.П. Сахно та інші), [232] (д.т.н. А.П. Солтус); дослідження процесів трибоелектричної взаємодії в парах тертя та розвитку наукових основ підвищення знософрикційних властивостей гальм [233] (д.т.н. С.І.Криштопа); теорії дослідження енергоперетворюючих систем автомобіля [234] (д.т.н. П.Н.Гащук); проєктування транспортних машин (д.т.н. М.Я.Говорущенко і д.т.н. А.Н.Туренко [235]); оцінці ефективності вантажних автомобілів для сільського господарства та обґрунтування параметрів їх конструкції [236] (д.т.н. В.В.Рудзинський); при порівняльній оцінці різних транспортних засобів (П.В.Аксенов [237]); управління технічними системами [238] (Є.С.Кузнецов); розробленні теоретичних основ програмованої експлуатації автомобілів [239] (П.Р.Левковець); дослідження питань забезпечення пасивної безпеки ДТЗ [240] (А.И.Рябчинский); дослідження проблем вдосконалення транспортної системи [241] (В.Н.Иванов, В.И.Ерохов); розроблення методології системного аналізу та імітаційного моделювання об’єктів автомобільної техніки і транспорту [242] (Ю.Г.Котиков); дослідження паливної економічності автомобілів в складних умовах руху [243] (д.т.н. Н.М.Маяк); дослідження забруднення транспортом довкілля в містах [244] (А.О.Крузе); комплексної оцінці впливу об’єктів транспорту на навколишнє природне середовище, зокрема [245] (д.т.н. О.І.Запорожець та інші); комплексного моделювання управління навколишнім середовищем, соціально-економічного прогнозування [246 – 249]; розроблення теорії екологічних властивостей автомобільних енергетичних установок [250] (Ю.В. Трофименко); постановці оптимізаційних завдань в системі «Автотранспортний комплекс – навколишнє середовище (В.Н.Луканин, Ю.В.Трофименко [251]); оцінці та зниження негативного екологічного впливу автомобільних двигунів на навколишнє природнє середовище (В.Н.Луканін і Ю.В.Трофименко [252 –

254); дослідження питань економії палива на автомобільному транспорті (В.М.Іванов і В.І.Єрохов [255]); аналізу міського транспорту і середовища (А.О.Крузе [256]); підвищення використання міських автобусів засобами інженерно-технічної служби (В.А.Максимов [257]); діагностиці технічного стану автомобіля (А.В.Серов [258]); аналізу взаємодії енергетичних установок з компонентами навколишнього середовища [259]; дослідження автомобіля та навколишнього середовища (П.М.Каніло, І.С.Бей, О.І.Ровенський [260]); дослідження автором умов і сфер раціонального заміщення бензину стисненим природним газом при експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту [261]; оцінці екологічної безпеки виробів автомобілебудування в процесі їх повного життєвого циклу [262]; оптимізації розміщення енергетичних об’єктів з позиції теорії «аналізу рішень» [263]; дослідження з використанням математичних моделей таких експлуатаційних властивостей автомобілів як плавність ходу, стійкість, керованість [264, 265] (д.т.н. А.А.Хачатуров, В.Л.Афанасьев, В.С.Васильев та інші); дослідження транспортних мереж, транспортних потоків та їх енергетичних та екологічних характеристики, вирішення оптимізаційних завдань на клітинних моделях [266]; системної оцінки ефективності нової техніки [267]; розроблення теорії організації та технології транспортного процесу вантажних автомобільних перевезень [268] (д.т.н. А.И.Воркут); підвищення якості автомобільного транспортного процесу [269]; розроблення теорії систем місцевість-машина, зокрема, для розроблення транспортних засобів для пересування на поверхні інших планет Сонячної системи [270]; при вирішенні проблем впровадження нової техніки у промисловість, збройні сили, в дослідження космічного простору [271].

В останні роки подальший розвиток системного підходу та елементи його використання увійшли, зокрема у роботи з: дослідження з використанням методів математичного моделювання динаміки наземних транспортних засобів [272 – 284]; дослідження питань подальшого розвитку енергетичних

установок та трансмісії шасі наземних транспортних засобів, зокрема, електричного транспорту, моделювання транспортних, зокрема, гібридних, енергетичних установок та систем управління ними [288 – 308]; дослідження питань розвитку електричного та гібридного транспорту з врахуванням інфраструктури [309]; дослідження питань використання альтернативних моторних палив та передових технологій [310]; дослідження інтелектуальних систем на транспорті [311, 312]; дослідження автомобільної індустрії та навколишнього середовища [313]; дослідження впливу транспорту на навколишнє природне середовище [313 – 317]; дослідження питань ергономіки автомобілів [318, 319]; дослідження моделей групової поведінки в системі людина-машина [320]; моделюванні та вирішення завдань оптимізації транспортного процесу [321].

Вирішення наведених та багатьох інших завдань оптимізації заходів з управління потребує системного підходу та оцінки в життєвому циклі. Особливо, наприклад, при розгляді питань технічного регулювання екологічних вимог до автомобілів, впровадження екологічних зон в містах, розширення використання біопалив чи стимулювання розширення частки електромобілів, або розвитку водневої енергетики на перспективу, з невизначеними питаннями інтегральної вартості енергії, інфраструктури, утилізації тощо.

Окремі питання оцінки в життєвому циклі забруднення довкілля дорожнім транспортом, у тому числі у розрізі використання різних джерел енергії та енергоносіїв, було розглянуто, зокрема, у роботах [322 – 332].

Принципи оцінки транспорту в життєвому циклу використовуються сьогодні в багатьох дослідженнях, зокрема, в [333 – 336]. Наприклад, [337, 338] та інші дослідження висвітлюють проблемні аспекти загального впливу електромобілів на навколишнє середовище у повному життєвому циклі.

Оцінювання життєвого циклу є врегульованим ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура

(ISO 14040:2006, IDT «Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework»), а також є частиною «Environmental Management and Auditing System» (EMAS) [339].

В цілому, окремим, розрізненим питанням оцінці транспорту в життєвому циклі та його системного аналізу присвячено велику кількість публікацій, детальний аналіз яких виходять за межі даної роботи.

Слід зазначити що, на даний час, ще залишаються не достатньо розвинутими теоретико-методологічні основи та доступний для широкого практичного використання інструментарій системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням довкілля дорожнім транспортом у життєвому циклі з врахуванням всіх основних сфер, що охоплюють обслуговування, дорожню інфраструктуру, енергетичну, хімічну та машинобудівні галузі, видобуток сировини, утилізацію, та пов’язані процеси споживання енергії та забруднення навколишнього середовища, розподілені у просторі і часі.

Також не здійснювалися системні дослідження з метою прогнозування на період до 2030 р. та на період до 2050 р. детальної структури, активності, споживання енергії та викидів забруднювальних речовин автомобільним транспортом в Україні за різними макроекономічними сценаріями та варіантами управління в цій сфері.

Окрім розроблення загальних теоретичних підходів з охопленням повного життєвого циклу, увагу в цій роботі приділено вирішенню практичних аспектів прогнозування впливу заходів з управління, що зосереджені в першу чергу на етапі першого доступу до експлуатації (технічному і фіскальному регулюванні якісного оновлення парку), а також в процесі експлуатації дорожніх транспортних засобів (ДТЗ). Це можна визначити як пріоритетний напрям управління (з можливих) в умовах поточного стану вітчизняного автомобілебудування, коли левова частина поповнення автомобільного парку припадає на імпортовані ДТЗ, серед яких

переважну частку сьогодні складають ДТЗ, що були в користуванні в інших країнах. В цих умовах питання власне виробництва ДТЗ і пов'язане з цим споживання ресурсів та викиди забруднювальних речовин залишаються поза межами можливостей прямого впливу країни-імпортера. Також сьогодні країна імпортує переважну частину моторних палив та левову частину нафтопродуктів. Отже, питання розгляду джерел енергії у повному життєвому циклі також має певні обмеження в контексті можливостей прямого регулювання.

Разом з цим, хоча акцент в практичних розрахунках у роботі зроблено саме на можливих заходах управління у сферах першого допуску та подальшої експлуатації ДТЗ, нижче у розділі 2 розглядається цілісний системний підхід, що охоплює всі основні аспекти життєвого циклу, подальша повномасштабна реалізація якого, вочевидь, є можливою виключно проведенням великого комплексу досліджень, що виходить за межі однієї роботи.

2.2. Концепція системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

Запропонована концепція системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами (ДТЗ) ґрунтується на таких, пов'язаних між собою, основних принципах:

1. Розгляду, врахуванні та використанні у системний спосіб основних факторів впливу, умовно розподілених на групи різного характеру та можливостей системного керування ними у практичній площині. Важливі фактори, керування якими на певній території унеможливлено, або істотно обмежено, враховують, або, за наявних можливостей, використовують під час

планування та оптимізації системи заходів із управління, що можуть бути реалізовані з огляду на наявні ресурси та обмеження.

2. Одночасного застосування системи пов’язаних між собою можливих у практичній площині і доцільних заходів з управління, розподілених у часі та просторі, в найбільш оптимальний спосіб, з використанням цільових функцій протягом часового періоду, що охоплює життєвий цикл основних об’єктів впливу (управління) та інвестицій.

3. Введення зворотного зв’язку, впровадження систем «вимірювання» стану «комплексного об’єкту управління», визначення, зокрема, методами моделювання, істотних (з огляду на проблему, що вирішують) показників стану та функціювання транспортного комплексу і пов’язаних галузей економіки, зокрема, збиранням необхідних даних та відтворенням відсутніх статистичних або адміністративних даних щодо розгорнутої структури парку ДТЗ, їх активності та розподілу умов експлуатації, споживання різних видів енергії, викидів парникових газів та «локальних» забруднювальних речовин (що завдають шкідливого впливу), середніх значень вмісту вуглецю і нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку (останні є важливими даними для розрахунків викидів діоксиду вуглецю та інших парникових газів в цілях національної інвентаризації антропогенних викидів із джерел та поглинання поглиначами парникових газів відповідно до міжнародних вимог), а також вимірювання, моделювання, та відслідковування зміни концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі міст з врахуванням факторів їх розсіювання тощо (як зворотній зв’язок оцінки ефективності системи (комплексу) заходів з управляння та періодичного вживання необхідних коригувальних дій).

4. Визначення методами математичного моделювання оптимального комплексу заходів з управління, розподілених у часі, ґрунтуючись на прогнозуванні наслідків (ефектів) можливих варіантів управління.

5. Розгляду наведених вище елементів у системі, що відображає споживання енергетичних, матеріальних, інших ресурсів, та завдання збитків, розподілених у просторі і часі у життєвому циклі з урахуванням основних сфер, що охоплюють, крім здійснення транспортного процесу, обслуговування транспортних засобів, дорожню інфраструктуру, енергетичну, хімічну та машинобудівні галузі, видобуток сировини, утилізацію тощо.

При цьому також враховують, зокрема, географічне розташування та територіальну належність місць, де відбуваються пов'язані процеси, зокрема, забруднення навколишнього природного середовища, з огляду на можливості окремої країни (чи групи країн) здійснювати вплив на ці процеси, та розподіл «зон відповідальності», прийняті міжнародні зобов'язання щодо скорочення викидів тощо.

Очевидно, що зменшення викидів забруднювальних речовин на одній території, наприклад, за рахунок збільшення частки електромобілів в структурі парку, може відбуватися за рахунок збільшення обсягів викидів (та інших проявів техногенного тиску на навколишнє природне середовище) на інших територіях, де відбуваються процеси видобутку сировини, виробництва та розподілу електроенергії, виробництва електромобілів та елементів їх конструкції, процеси утилізації тощо.

В той час як викиди діоксиду вуглецю, інших парникових газів та їх прекурсорів можна вважати такими, що мають глобальний вплив, викиди більшості токсичних для людини речовин мають у першу чергу яскраво виражений «локальний» характер негативного впливу (звичайно, при цьому має також враховуватися перенесення забруднювальних речовин на значні території, фактор трансграничного забруднення), та нанесені останніми сукупні збитки значною мірою залежать від кількості та відстані розташування (а отже інтенсивності негативного впливу) від них відповідних реципієнтів, яким завдаються ти чи інші види шкоди.

Разом з тим, зобов’язання, принципові можливості та вартість заходів із скорочення викидів парникових газів нерівномірно розподілені між країнами, що також має бути прийнято до уваги.

В ідеалізованому «глобальному» підході, заходи з регулювання у цій сфері слід розглядати з точки зору інтересів людства в цілому, тобто із забезпеченням зменшення загального споживання ресурсів (енергетичних у тому числі), зменшенням загальних викидів парникових газів, та зменшення розподіленого у просторі і часі «локального» забруднення у спосіб, що дозволить зменшити сукупні негативні наслідки, також за умов максимально можливого повсюдного дотримання встановлених нормативів гранично допустимих концентрацій токсичних речовин, зокрема, у повітрі (хоча підходи до переліку регульованих речовин та їх, законодавчо встановлені гранично допустимі концентрації, істотно відрізняються на різних територіях).

Разом з тим, з урахуванням існуючої моделі міжнародного поділу праці та розподілу ресурсів у світі, жорсткої міжнародної конкуренції, заходи з регулювання є доцільним розглядати одночасно з огляду на «глобальний» підхід та національний підхід, з оглядом на суто національні інтереси, або регіональний підхід, пошук балансу між якими полягає у міждержавних відносинах, є скоріше геополітичним питанням, та виходить за межі даного дослідження у галузі технічних наук, першочергове завдання якого – надати політикам науково обґрунтовані інструменти ефективного та оптимального (за встановленими критеріями і пріоритетами) управління у цій сфері, ґрунтуючись на системному підході та прогнозуванні наслідків відповідних рішень.

Невід’ємною складовою концепції також є інші елементи і принципи, описані нижче у цьому розділі, та:

– у розділі 3 щодо визначення оптимальних напрямів (пріоритизації) і меж доцільного управління у цій сфері;

– у розділі 4 щодо концептуального визначення доцільних і досяжних (з огляду на економічні та інші обмеження) напрямів вирішення проблеми технологічного забезпечення управління у цій сфері, що потребує отримання доступу країни до високовартісного високотехнологічного обладнання для визначення питомих викидів забруднювальних речовин та питомого споживання енергії ДТЗ відповідно до вимог чинних міжнародних та перспективних стандартів (технічних регламентів), а також розроблення і впровадження нових технологій, обладнання і методів експериментальних і розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів дорожніми транспортними засобами;

– у розділі 5 щодо:

1) концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей дорожніх транспортних засобів;

2) уніфікованої системи екологічного маркування дорожніх транспортних засобів та схем регулювання доступу до інфраструктури;

3) системи визначення зведеного динамічного рівня екологічної небезпеки транспортних засобів в частині інгредієнтного забруднення, відповідного маркування ДТЗ за рівнем екологічної небезпеки інгредієнтного забруднення та узгодженого позначення зон низької емісії (екологічних зон) в містах;

4) показників ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами та методів їх визначення;

5) концепції компаративної системи управління питомим споживанням енергії дорожніми транспортними засобами в експлуатації;

– у розділі 6 щодо:

1) управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в експлуатації;

2) впровадженої системи нормування споживання енергії дорожніми транспортними засобами в експлуатації;

– у розділі 7 щодо зворотного зв’язку, визначення ретроспективного, поточного та прогнозованого стану комплексного об’єкту управління, зокрема в частині:

1) інвентаризації сукупного споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин дорожнім транспортом;

2) відтворення даних щодо структури, активності та умов експлуатації парку ДТЗ;

3) відтворення (у тому числі – в ретроспективі) даних щодо структури та середніх національних значень вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив, представлених на ринку країни;

4) організації національної програми моніторингу структури, обсягів споживання, експлуатаційних властивостей та якості моторних палив;

5) моніторингу стану забруднення атмосферного повітря;

6) моделювання та прогнозування з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля міста залежно від основних факторів впливу та здійснення оцінки екологічної ефективності заходів і проектів з покращення якості повітря;

7) визначення перспективних напрямів розвитку технологій та інфраструктури забезпечення інвентаризації споживання енергетичних ресурсів і викидів забруднювальних речовин, моніторингу стану забруднення атмосферного повітря;

8) концепції створення національної транспортної моделі України та відповідного центру оброблення даних;

9) прогнозування споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів та токсичних забруднювальних речовин автомобільним транспортом;

10) прогнозування стану атмосферного повітря міст за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та регулювання викидів дорожнім транспортом;

11) відслідковування ефективності та поточного коригування заходів з управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

Загальне та питоме використання енергії та інших ресурсів, інтенсивність, характер, сукупний вплив і наслідки техногенного тиску на довкілля парку ДТЗ є складними функціями від численних взаємопов'язаних факторів впливу.

Ці фактори впливу можна умовно розподілити на п'ять груп.

Група I. До першої групи факторів можна віднести такі, що мають (або в майбутньому матимуть, як передбачається) істотний вплив, але, за об'єктивних причин, не можуть бути керованими у практичній площині на певній території, або взагалі знаходяться поза межами можливостей впливу людини.

Це, зокрема, природні фактори. Наприклад, місцеві географічні та кліматичні умови, що охоплюють певну обмежену територію у поточний час чи у відносно обмеженій часовій перспективі, протягом якої глобальні кліматичні зміни, що відбуваються, не можуть бути зіставленими у практичній площині з антропогенними факторами впливу (це питання також розглядається у факторах впливу другої групи).

Кліматичні умови, рельєф та інші особливості місцевості в значній мірі визначають вимоги до ДТЗ та інфраструктури, а також набір властивостей та критерії, за якими, зокрема, конструкція ДТЗ буде оптимальною.

До цієї групи також у певній мірі можуть бути віднесені фактори, зумовлені об'єктивними законами розвитку людства, світової економіки, технологічного розвитку тощо.

Безумовно, ці, умовно некеровані у практичній площині фактори, мають досліджуватися та враховуватися під час аналізу у взаємозв'язку із керованими факторами інших груп.

Група II. До другої групи факторів можна віднести такі, які, як вважають, можуть бути керованими у практичній площині шляхом об'єднання зусиль всього людства, або принаймні значних регіональних об'єднань, протягом тривалого часового відрізку. Тобто, вочевидь, знаходяться поза межами можливостей впливу окремих держав чи регіональних об'єднань.

До таких факторів впливу, згідно з політичним «мейнстрімом» останнього часу та широким науковим «бекграундом», можна віднести уявлення про катастрофічний характер антропогенного впливу людства на глобальне потепління з прогнозованими негативними і, як вважають, вже майже незворотними наслідками, що вимагають наполегливих зусиль задля зменшення викидів в атмосферне повітря парникових газів, вагомим джерелом яких є, зокрема, дорожній транспорт, та пов'язані з ним галузі економіки.

Існують різні, зокрема, діаметрально протилежні оцінки вагомості внеску людства в глобальне потепління з огляду на інші, природні фактори впливу, та щодо очікуваних наслідків цих процесів.

Разом з тим, у будь якому випадку, вплив заходів з управління на зміну викидів парникових газів має бути врахований у системний спосіб, а «збалансоване» зменшення споживання транспортом енергії викопних палив, перехід до «низьковуглецевої економіки» та розвиток відновлювальної енергетики є безумовно актуальними завданнями сучасності.

Група III. До третьої групи факторів можна віднести міжнародні та регіональні стандарти (технічні регламенти), що встановлюють, зокрема, комплекс взаємопов'язаних та суперечливих вимог до конструкції ДТЗ, зокрема, в частині викидів токсичних забруднювальних речовин, парникових газів, енергоефективності, рециклінгу, вимог до пневматичних шин тощо.

«Драйвером» цих стандартів є у значній мірі автомобілебудівна промисловість технологічно розвинених країн та їх національні уряди. Таким чином, підґрунтям цих стандартів, окрім задоволення потреб суспільства в постійному підвищенні рівня загальної, активної, пасивної, екологічної безпечності та споживчих властивостей конструкції транспортних засобів, є, у першу чергу, жорстка конкурентна боротьба за ринки збиту продукції на міжнародному рівні.

Однім з наслідків цієї конкурентної боротьби «на виживання» є розповсюджене викривлення автовиробниками показників енергоефективності та питомих викидів забруднювальних речовин. Ця проблема отримала назву «поза-циклові викиди».

Отже, окремі менш технологічно розвинені країни можуть знаходитись під потужним впливом цих факторів, але не маючі при цьому економічних і технологічних можливостей істотно впливати на цей процес.

Інвестиції окремих, технологічно розвинених країн з потужною економікою у розвиток нових технологій в цілому конструкції та енергетичних установок транспортних засобів можуть мати, через експорт покращеної та інноваційної продукції на ринки інших країн, потужний вплив на їх транспортний комплекс, але без можливостей істотного впливу або навіть участі останніх у цьому процесі технологічного (і наукового) розвитку.

Цей фактор у певній мірі може бути успішно використаний багатьма країнами через законодавче встановлення вимог, до продукції, що постачається на ринки, відповідних тим чи іншим міжнародним стандартам.

Група IV. Слід виокремити четверту групу факторів, що мають істотний вплив на рівень вимог до, наприклад, енергоефективності конструкції ДТЗ і пріоритети регулювання на різних територіях. Це економічний потенціал, умови доступу до енергетичних та інших ресурсів, рівень доходів на душу населення країни, її загальний технологічний рівень, рівень життя, суспільні цінності, вимоги до комфорту та стереотипи поведінки споживачів тощо.

Країни можуть встановлювати на законодавчому рівні вимоги до енергоефективності ДТЗ, які є неспівставними, наприклад, як це показано у розділі 1.

Отже чинні та перспективні вимоги до паливної економічності ДТЗ, що встановлюють в США, є неспівставними з цілями, наприклад, країн ЄС, та навіть є неприйнятними на європейському континенті.

Крім того, показники паливної економічності (енергоефективності) та вимоги до рівня екологічної небезпеки ДТЗ (перелік та норми питомих викидів забруднювальних речовин), а також методи їх визначення (у тому числі їздові цикли), що використовують, наприклад, в ЄС і США, є неспівставними між собою (як це показано у розділі 1).

Група V. Фактори п’ятої, найбільшої групи, що можуть бути керованими більшістю окремих країн на певних територіях, що в основному полягають в:

1) впливі на поведінку споживача (екологічний маркетинг) на користь екологічно сприятливих та енергоефективних продуктів через належне інформування та просвітницьку роботу із відповідним маркуванням продуктів (м’яке регулювання) та/або фіскальні важелі (жорстке регулювання), відповідне стимулювання автовиробників;

2) заходах із технічного регулювання обов’язкових до виконання вимог до продукції, що постачають на ринок, які також можуть поєднуватися із жорсткими економічними санкціями за невиконання встановлених вимог, наприклад, перевищення встановлених норм питомих викидів діоксиду вуглецю у стандартизованих тестових процедурах;

3) заходах із встановлення диференційованих умов доступу до дорожньої та іншої інфраструктури, у тому числі залежно від істотних екологічних властивостей ДТЗ (впровадження зон низьких викидів в містах, платних доріг, прямої заборони експлуатації ДТЗ, що не відповідають встановленим мінімальним вимогам);

4) комплексу заходів із зменшення споживання енергії та викидів в умовах експлуатації.

Зазначені, та інші заходи з управління, більш детально розглянуті у розділах 3–7, виокремлені на основі аналізу напрямів управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря, виконаного у розділі 1, охоплюють те, що може бути реалізоване в Україні у найближчі роки у практичній площині, з врахуванням наявних ресурсів та обмежень, та враховують (або, за можливості, використовують) інші, перелічені вище керовані та некеровані фактори впливу.

Підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря парком ДТЗ може і має відбуватися шляхом реалізації певного, оптимального набору (комплексу) доступних заходів, пов’язаних у єдину систему, спираючись на наявні ресурси і можливості, одночасно враховуючі та використовуючи фактори «зовнішнього середовища», наведені вище.

Важливим елементом концепції управління є розвиток інноваційної системи показників істотних екологічних властивостей ДТЗ, методів їх визначення та відповідного маркування ДТЗ (розділ 5), розвиток технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами (розділ 4).

Це, зокрема:

1) надає принципові можливості державного регулювання у визначеній сфері, у тому числі, технічного регулювання відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів;

2) є базовим елементом впровадження системи стимулювання якісного поступового оновлення парку в цілому та системи диференціації доступу до інфраструктури з якісним та відносно швидким покращенням структури транспортних потоків в містах;

3) надає принципові можливості (технологічну основу) для проведення в країні випробувань ДТЗ, елементів їх конструкції, здійснення наукових досліджень і розробок, проведення виробниками НДДКР, зокрема, за напрямом покращення енергоефективності та екологічних властивостей ДТЗ, розширення використання альтернативних моторних палив тощо;

4) надає інструменти для більш об'єктивного визначення ефективності різних технічних рішень, технологій, та порівняння альтернатив;

5) надає потужні стимули для вдосконалення конструкції ДТЗ та інновацій у галузі.

Наведена концепція є одним з інструментів, необхідних для визначення та реалізації на державному рівні стратегії управління у цій сфері, з огляду на встановлені цільові функції та визначені пріоритети.

2.3. Система управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

Запропонована узагальнена система дорожнього транспорту та пов'язаних галузей у життєвому циклі, що відображає розподілене у просторі і часі сукупне використання енергії та інших ресурсів, і забруднення довкілля, може бути представлена, як це показано рис. 2.1 (а також опубліковано автором у [340]).

Розповсюдженим прийомом виокремлення елементів систем в ієрархічній структурі є використання понять «надсистеми», що складається з «систем», які, в свою чергу мають у складі «підсистеми». Якщо система є складною та містить велику кількість таких «вкладень», як і система, що досліджується, уявляється доцільним використання поняття систем різного ієрархічного рівня з відповідною нумерацією.

Показана на рис. 2.1 система в цілому (або «надсистема») визначається як система першого рівня, її елементи – системи другого рівня, які, в свою

чергу містять «вкладення» різної складності із систем нижчого ієрархічного рівня. Інші елементи, незалежно від ієрархічного рівня, позначають терміном «система».

Позначення елементів для зручності викладено з використанням латинських літер та англійської, як міжнародною мови, і, відповідно, надано переклад.

«Надсистему» представлено як закриту систему, що містить системи другого рівня, перелічені нижче:

– система «**P**» (з англ. «**P**rimary») – «Джерела первинної енергії» (мультимножина «**P**» видів первинної енергії);

– система «**S**» (з англ. «**S**tock») – «Сировина» (мультимножина «**S**» видів сировини);

– система «**U**» (з англ. «**U**tilization») – «Утилізація» (мультимножина «**U**» відходів);

– система «**N**» (з англ. «**N**ature») – «Природа»;

– система «**E**» (з англ. «**E**nergy») – «Енергетика» (представлена мультимножиною «**E**» видів енергії, до якої також додано мультимножину «**Q**» інших різноманітних експлуатаційних матеріалів, що є продуктами хімічної промисловості);

– система «**M**» (з англ. «**M**achinery») – «Машинобудування» (мультимножина «**M**» ДТЗ, що пропонують на ринку, а також їх складників, змінних елементів конструкції тощо);

– система «**T**» (з англ. «**T**ransport») – «Парк ДТЗ» (мультимножина «**T**» видів ДТЗ);

– система «**F**» (з англ. «**F**ix up») – «Обслуговування» (мультимножина об’єктів **F**»);

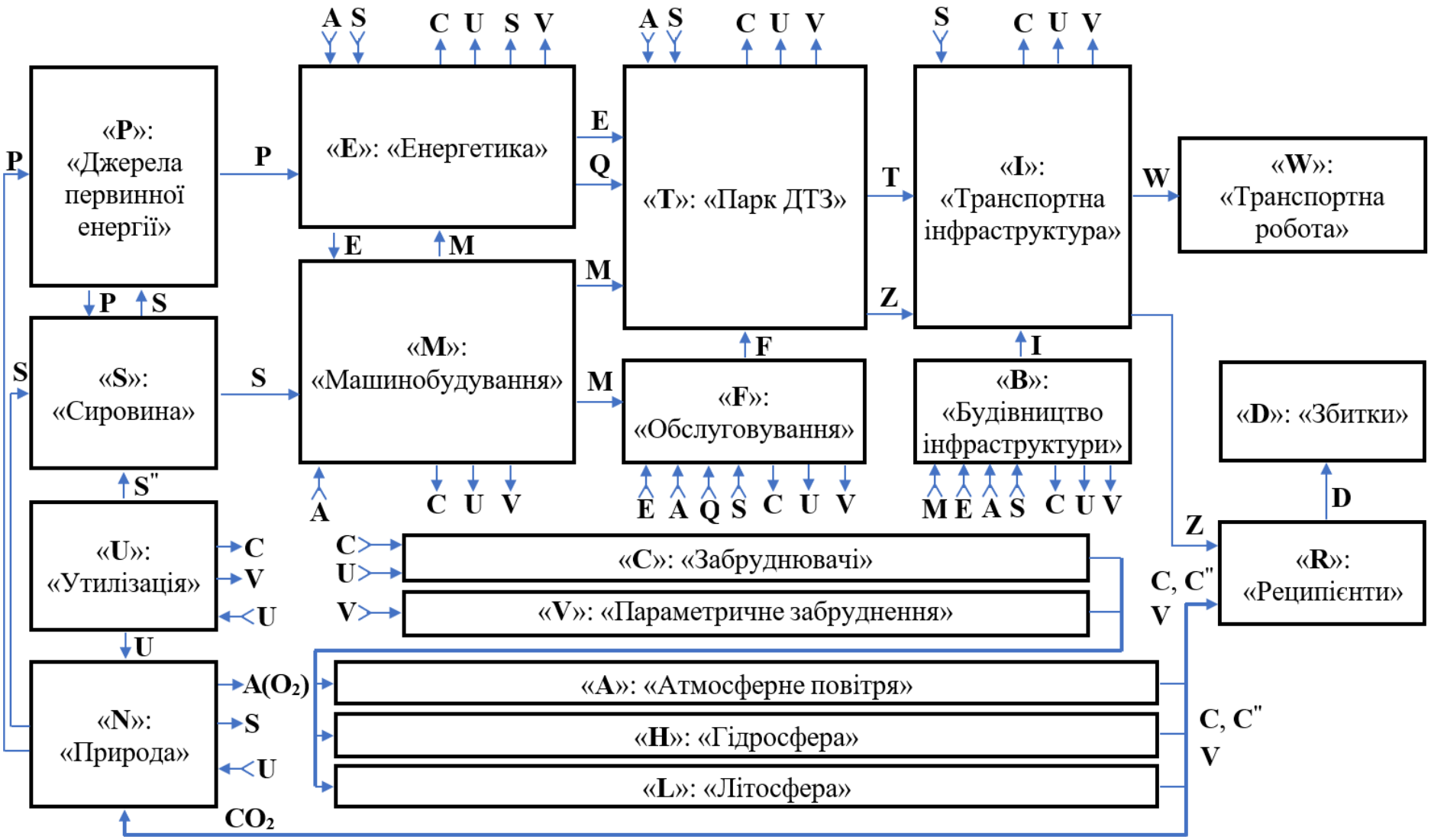


Рисунок 2.1 – Структурна схема основних елементів системи, що відображає використання енергії та забруднення навколишнього природного середовища дорожнім транспортом

– система «**I**» (з англ. «**I**nfrastructure») – «Транспортна інфраструктура» (мультимножина «**I**» об’єктів інфраструктури);

– система «**B**» (з англ. «**B**uild») – «Будівництво інфраструктури» (мультимножина «**B**» об’єктів будівництва інфраструктури);

– система «**W**» (з англ. «**W**ork») – «Транспортна робота» (мультимножина «**W**» видів транспортної роботи, диференційованих за видами, переважним місцем та призначенням перевезень, враховуючі наявність та перспективи розвитку альтернативних видів транспорту (пересування) на певних відстанях тощо);

– система «**C**» (з англ. «**C**ontaminants») – «Забруднювачі» (мультимножина «**C**» видів забруднювачів);

– система (мультимножина) «**V**» (з англ. «**V**ibrational») – «Параметричне забруднення» (акустичний шум, вібрація, електромагнітне випромінювання, радіаційне випромінювання);

– система «**A**» (з англ. «**A**tmosphere») – «Атмосферне повітря» (мультимножина «**A**» місць забруднення та шляхів передачі забруднювачів, діоксиду вуглецю, кисню);

– система «**H**» (з англ. «**H**ydrosphere») – «Гідросфера» (мультимножина «**H**» місць забруднення та шляхів передачі забруднювачів);

– система «**L**» (з англ. «**L**ithosphere») – «Літосфера» (мультимножина «**L**» місць забруднення, що є ланкою подальшої передачі забруднювачів);

– система (мультимножина) «**R**» (з англ. «**R**ecipients») – «Реципієнти»;

– система (мультимножина) «**D**» (з англ. «**D**etriments») – «Збитки».

Наведені вище елементи «надсистеми» мають зв’язки між собою у вигляді енергетичних, матеріальних та інших потоків.

Обмін інформацією між елементами надсистеми, отримання інформації про стан її елементів і показників їх функціонування, керуючі дії та відповідні елементи розглядаються окремо відповідно до конкретного завдання оптимізації, цільових функцій, що застосовують, і заходів впливу на систему (керуючих дій).

Нижче наведено опис загальних енергетичних і матеріальних потоків між елементами надсистеми, якими в надсистемі є:

– потоки первинної енергії «**P**»;

– потоки енергоносіїв «**E**» та різноманітних експлуатаційних матеріалів «**Q**» (дистильована вода, рідини для склоомивачів, рідини для системи охолодження, реагенти систем нейтралізації забруднювальних речовин (водний розчин сечовини, відомий як «Adblue»), масла і мастила, гальмівні рідини, електроліт тощо);

– потоки сировини «**S**» (у тому числі – вторинна сировина «**S**"»);

– матеріальні потоки «**M**» – продукція машинобудування (ДТЗ та їх змінні компоненти, пневматичні шини, деталі та вузли тощо);

– атмосферне повітря «**A**», зокрема, як джерело кисню (**O_2**);

– потоки інгредієнтного забруднення «**C**», представлені мультимножиною «**C**» видів забруднювачів, з виокремленням «вторинних» забруднювачів «**C**"», які утворюються внаслідок хімічних перетворень «первинних» забруднювачів «**C**» в атмосфері «**A**», гідросфері «**H**» та літосфері «**L**»;

– потік **CO_2** виокремлено на схемі, як вхід до системи «**N**», де вуглекислий газ є компонентом (сировиною) процесу утворення біомаси та кисню (**O_2**);

– потоки «**V**» параметричного забруднення, представлені мультимножиною «**V**»;

– матеріальні потоки відходів «**U**», що можуть бути перероблені, утилізовані, використані повторно (рециклінг), використані як сировина для матеріального виробництва або виробництва енергії (вторинні енергетичні ресурси), розсіяні у просторі або сконцентровані в певних місцях, та можуть бути забруднювачами із вираженим негативним впливом на реципієнти «**R**», який потребує врахування в надсистемі.

Далі наведено специфічні зв’язки та потоки між елементами надсистеми.

Система (мультимножина) «**T**» ДТЗ, що приймають участь в дорожньому русі та виконанні технологічних операцій, при цьому використовує мультимножину об’єктів інфраструктури «**I**», через яку здійснюють мультимножину видів транспортної роботи «**W**».

Система «**T**» споживає потік продукції машинобудування «**M**», потік енергетичних ресурсів «**E**», різноманітних експлуатаційних матеріалів «**Q**» (напряму та через систему «**F**»), атмосферне повітря «**A**» з виокремленням кисню (**O_2**) з його складу, сировину «**S**», до якої входить також і вода тощо.

Система «**T**», як і більшість інших елементів надсистеми, утворює розподілені у просторі і часі потоки інгредієнтного забруднення «**C**», потоки «**V**» параметричного забруднення, та потоки відходів «**U**», представлені у вигляді мультимножин.

Одним з побічних наслідків функціонування системи «**T**» в інфраструктурі «**I**» є дорожньо-транспортні пригоди, позначені потоком (мультимножиною) «**Z**» негативних видів впливу.

Система «**T**» також має зв’язок із системою «**F**», яка забезпечує обслуговування ДТЗ, та включає об’єкти автосервісу, зокрема, ремонт,

технічне обслуговування, догляд за колісними транспортними засобами (у тому числі мийка). Показано, як умовний потік «**F**». Система «**F**» також споживає потік «**M**» продукції машинобудування, в який, зокрема, входять змінні елементи конструкції ДТЗ (шини, акумулятори, змінні каталітичні нейтралізатори, гальмівні колодки тощо), виробничі фонди тощо.

Систему перевірки придатності до експлуатації та інші компоненти управління не показано на цій схемі.

Розвиток, ремонт та обслуговування об’єктів інфраструктури (системи «**I**») забезпечує, через умовний потік «**I**» оновлення (підтримки) інфраструктури, система (мультимножина) «**B**» об’єктів будівництва інфраструктури. Система «**I**» споживає через систему «**B**» значні матеріальні, енергетичні, цінні земельні ресурси тощо.

Результатом негативного впливу інгредієнтного «**C**» (та «**C**"») і параметричного «**V**» забруднення, а також впливу наслідків дорожньо-транспортних пригод «**Z**» на систему (мультимножину) реципієнтів «**R**», утворюється потік збитків «**D**», «акумульований» у системі (мультимножині) «**D**».

Важливою особливістю надсистеми є розгляд системи «**A**» (Атмосферне повітря), системи «**H**» (Гідросфера), та системи «**L**» (Літосфера) як мультимножин місць забруднення та шляхів послідовної передачі забруднювачів (факторів негативного впливу) від елементів «**T**», «**I**», «**B**», «**F**», «**E**», «**M**», «**U**» до «розсіяних» у просторі реципієнтів «**R**» з врахуванням їх віддаленості від реципієнтів, ступеня впливу на реципієнти, та кількості реципієнтів, що охоплені вираженим негативним впливом.

Забруднення від системи «**T**» (Парк ДТЗ) відбувається у розгалуженій у просторі системі «**I**» (Транспортна інфраструктура), відносно якої реципієнти розподілені нерівномірно, що враховано прив’язкою функції просторового

розподілу реципієнтів «**R**» до просторового розподілу інфраструктури «**I**», в якій також враховано у вигляді систем нижчих порядків, зокрема, умови розсіювання забруднювальних речовин (особливості місцевості, міської забудови тощо).

Матеріальні потоки відходів «**U**» є важливим компонентом системи з огляду на можливості управління у цій сфері, маючи на увазі повторне використання деталей (агрегатів та вузлів), встановлення вимог до ступеня повторного використання конструкційних матеріалів ДТЗ, врахування питань утилізації шин, стартових і тягових АКБ тощо (та забруднення довкілля, що з цим пов'язано, відображене у системі «**U**»).

Система «**U**» є важливим джерелом вторинної сировини «**S**"», яка разом із «первинною» сировиною «**S**» використовується для виробництва продукції машинобудування в системі «**M**», та використовується в системі «**E**».

Система «**N**» (Природа) уведена в надсистему для відображення (в частині) джерел первинної енергії, процесів поглинання у біосфері діоксиду вуглецю (**CO_2**) з функціями продукування кисню (**O_2**) та біомаси, що може бути використана як сировина (**S**) для виробництва, зокрема, компонентів біопалив, або такого виду вторинного енергоносія, як електроенергія. Також система «**N**» розглядається як вмістилище відходів «**U**», величезні обсяги утворення яких потребують особливої уваги. Останні також є джерелом розподілених у просторі потоків у першу чергу інгредієнтного забруднення «**C**», позначених на схемі через систему «**U**» (що має як штучно створену, так і природню складову), що через системи «**L**», «**H**», «**A**», разом із «вторинними» забруднювачами «**C**"», є фактором впливу на систему реципієнтів «**R**».

Система реципієнтів «**R**» об'єднує у складних взаємозв'язках тваринний (з акцентом на людині) і рослинний світ, об'єкти інфраструктури, що поступово зношуються та руйнуються потоками ДТЗ, будівлі та інші

інженерні споруди, які підпадають під руйнуючий вплив шкідливих факторів як системи «**T**», так і систем, «**I**», «**B**», «**F**», «**E**», «**M**», «**U**».

Охоплені наведеною вище надсистемою процеси і зв'язки між її елементами у «реальному житті» є надзвичайно складними. Система є динамічною, її розвиток необхідно розглядати упродовж значних відрізків часу, що охоплюють періоди життєвого циклу її елементів, протягом яких їх набір, властивості та зв'язки між елементами істотно змінюються.

Цільову функцію цієї надсистеми можна представити, зокрема, як виконання протягом визначеного періоду часу $\tau_1 - \tau_2$ (що охоплює життєвий цикл основних елементів – об'єктів впливу (управління) та інвестування фінансових ресурсів) завданих обсягів певних видів транспортної роботи «**W**» з мінімально можливими (економічно обґрунтованими) обсягами споживання енергії «**E**», експлуатаційних матеріалів «**Q**», інших ресурсів «**S**» (у тому числі, що споживають системи «**M**», «**E**», «**T**», «**F**», «**I**», «**B**», «**U**»), мінімально можливими збитками «**D**» (зумовленими техногенним тиском на реципієнти «**R**» безпосередньо транспорту, а також як побічні наслідки процесів в інших елементах надсистеми), що можуть бути приведені до сукупної вартості транспорту *G* з урахуванням індексу інфляції грошових одиниць:

$$G_W = \frac{\int_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} (G)\, d\tau}{\int_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} (W)\, d\tau} \tag{2.1}$$

де:

G_W – вартість транспортної роботи.

$$G = G_E + G_Q + G_S + G_M + G_E + G_T + G_F + G_I + G_B + G_U + G_D \tag{2.2}$$

Вирішення завдання оптимізації також має численні обмеження (фінансові, технологічні, людські, соціальні, політичні тощо).

Представлення надсистеми, систем, що її складають, та зв'язків між ними у спрощеному виді надає можливості чисельного вирішення завдань оптимізації, формування та прогнозування наслідків управлінських рішень.

Математичне представлення цієї надсистеми є можливим на основі подальшого розвитку такого інструменту, як теорія мультимножин.

Сучасна теорія мультимножин має фрагментарний характер, зумовлений специфічними вимогами завдань, що вирішувались протягом її розвитку. Ще не завершено формування єдиної систематично розвиненої загальної теорії мультимножин, побудованої на єдиній методологічній базі. Використовують різні математичні нотації для позначення мультимножин та операцій з ними. Отже і наведений нижче опис математичного апарату має певні особливості.

Опис складних множин розподілених у просторі об'єктів, що змінюють структуру та властивості у часі, може бути представлений як сімейство мультимножин.

На кожному послідовному періоді дискретизації (τ) сімейство мультимножин $A_{f(\tau)}$, яке поєднує мультимножини A_i груп об'єктів з унікальними наборами властивостей, що мають значення у завданні, що розв'язується, може бути представлено як:

$$A_{f(\tau)} = \{\langle A_i, q_i \rangle \mid i \in K\}, \tag{2.3}$$

де:

q_i – поточна кількість об'єктів у групі A_i кожного виду;

i – індекс об'єкту певного виду;

K – множина видів (груп) об'єктів, що розглядають в системі з початку відліку часу.

Загальна поточна кількість об’єктів у всіх групах, які коли-небудь потрапили у систему (що є також розміром $\left|A_{f(\tau)}\right|$ сімейства мультимножин $A_{f(\tau)}$):

$$\left|A_{f(\tau)}\right| = \sum_{i=1}^{K} q_i \,. \tag{2.4}$$

Сімейство мультимножин A_i описує розподіл «надходжень» об’єктів даної групи (виду (i)) в різні періоди часу (τ):

$$A_i = \{\langle s_\tau, q_\tau \rangle \mid \tau \in T\}, \tag{2.5}$$

де:

s_τ – послідовний (з визначеним періодом дискретизації) відрізок часу додавання (початку експлуатації) об’єктів виду A_i;

q_τ – кількість «нових» в системі об’єктів групи A_i за період часу (τ);

T – загальний період часу, що розглядають в системі з початку відліку часу.

Відповідно:

$$q_i = \sum_{\tau=\tau(0)}^{T} q_\tau \tag{2.6}$$

Розподіл $A_{i(d)}$ загальної кількості об’єктів групи A_i що залишаються «активними» в системі (з врахуванням видалених об’єктів, об’єктів, що не приймають участь в основних процесах, утилізованих об’єктів тощо) за різними періодами часу (τ) може бути представлений сімейством мультимножин:

$$A_{i(d)} = \sum_{\tau=\tau(0)}^{T} A_{i(s_\tau)}, \tag{2.7}$$

де $A_{i(s_\tau)}$ – мультимножина, що описує подальший розподіл у часі «залишку» d_τ від об'єктів групи A_i, що коли-небудь потрапили в систему у відрізок часу s_τ:

$$A_{i(s_\tau)} = \{\langle s_\tau, d_\tau \rangle \mid \tau \in T\}. \tag{2.8}$$

Аналогічно описують, зокрема, виокремлені з A_i групи тотожних за часом потрапляння в систему об'єктів із спільними властивостями (окремі з яких погіршуються у часі та є функцією від часу та багатьох, у тому числі – керованих факторів впливу), розподіл у часі «потоків» об'єктів, що утилізують, з чим пов'язують відповідні процеси тощо.

Наведеним вище чином може бути здійснений опис елементів надсистеми, що мають тривалий період експлуатації.

Комплексні потоки, зокрема, споживання енергії, транспортної роботи, забруднювачів описують також сімействами мультимножин, наприклад:

$$A = \{\langle a_i, q_i \rangle \mid i \in N\}, \tag{2.9}$$

де:

A – комплексний потік, що розглядають (наприклад, інгредієнтне забруднення різних видів), представлений у виді мультимножини;

a_i – певний вид забруднювача;

q_i – поточна кількість певного виду забруднювача;

N – множина видів забруднювачів, що розглядають в системі.

Наведені потоки розподіляють у часі та просторі з визначеним періодом дискретизації з використанням сімейств мультимножин.

Наприклад, викиди забруднювальних речовин від систем «**T**», «**I**» (а також «**B**», за необхідності) за період часу (τ) описують сімейством мультимножин, розподілених по основним об'єктам системи «**I**», «каналами» подальшої передачі яких у просторі є системи «**A**», «**H**», «**L**». Розподілені у просторі викиди ототожнюють з сімейством мультимножин реципієнтів «**R**», також розподілених уздовж інфраструктури «**I**».

Питання додаткових витрат і збитків, характерних для певних видів, зокрема, нових технологій, вивчають, за необхідності, детальним розглядом процесів в інших системах, зокрема «**M**», «**E**», «**F**», «**U**». Наприклад, питання виробництва та утилізації АКБ електромобілів, а також інших рідких хімічних елементів, що застосовують в конструкції ДТЗ тощо.

З використанням інтенсивності впливу забруднювачів на реципієнти (що визначається функціями, що враховують відстань від джерела до реципієнтів та інші чинники) розраховують інтегральні оцінки збитків різних видів, а також їх зведені показники у грошовому еквіваленті (екстерналії) тощо.

Таким чином, отримують розподілені у часі інтегральні показники споживання енергії, виконання транспортної роботи та супутніх збитків, як в ретроспективі, так і їх прогнозні значення за різними сценаріями впливу (регулювання).

Для моделювання та прогнозування впливу різних факторів та керуючих заходів на показники функціонування надсистеми вводять відповідні елементи збирання, передачі інформації, управління тощо.

Приклад фрагменту системи управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожнім транспортом, в

якому розглядаються лише заходи з регулювання доступу до ринку, експлуатації та інфраструктури, у спрощеному вигляді показано на рис. 2.2.

До ДТЗ, що тимчасово перебувають на території країни, застосовують спрощені процедури швидкого екологічного маркування із використанням даних за замовченням.

Певні вимоги можуть також застосовуватися до запасних частин і витратних матеріалів (пневматичних шин, наприклад).

В структуру наведених вище «фільтрів» також входять функції первинного маркування нових ДТЗ, що виробники пропонують на ринку, з метою доведення до споживача об’єктивних даних щодо показників її енергоефективності, рівня екологічної небезпеки, інших істотних екологічних властивостей, що використовують під час диференціації умов доступу до інфраструктури, а отже і свідомого вибору під час їх купівлі, оренди, заключення договорів на здійснення перевезень тощо.

Елементи контролю доступу до ринку можна у спрощеному вигляді представити як «фільтри» з певним ступенем ефективності, що застосовують до потоків ДТЗ (нових і таких, що були в користуванні), що вперше потрапляють до ринку, умовно обмеженого кордонами країни ($\mathbf{f_{(ДТЗ)}}$), «транзитних» ДТЗ, та ДТЗ, що перебувають на території країни за «тимчасовими схемами» ($\mathbf{f_{(тр/тв)}}$), потоків запасних частин ($\mathbf{f_{(з/ч)}}$). До ДТЗ, що вперше реєструють на території країни, встановлюють обов’язкові умови щодо мінімального рівня екологічних вимог.

Система оцінки придатності до експлуатації та контролю доступу до експлуатації ($\mathbf{f_{(ТО)}}$) має виконувати функцію «фільтра», що мінімізує вірогідність участі в дорожньому русі непридатних до експлуатації ДТЗ (за визначеними критеріями), які створюють підвищений рівень небезпеки в дорожньому русі та неприпустимий рівень екологічної небезпеки.

Система ($\mathbf{f_{(дм)}}$) виконує функцію динамічного маркування ДТЗ за поточним рівнем екологічної небезпеки інгредієнтного забруднення та іншими істотними екологічними властивостями.

Система ($\mathbf{f_{(кд)}}$) встановлює та забезпечує дотримання диференційованих умов доступу до інфраструктури із використанням системи ($\mathbf{f_{(оз)}}$), що реалізує принцип «забруднювач платить», є джерелом, зокрема, інвестицій в оновлення та покращення систем «**T**» і «**I**», розвитку зручних та привабливих альтернативних видів пересування містами тощо. Таким чином, зокрема, обмежують активний доступ ДТЗ, що не відповідають певному, мінімально необхідному рівню екологічної небезпеки, до забруднених території із значною концентрацією населення.

Витрати на створення і забезпечення функціонування елементів систем управління, розподілені за окремими елементами «надсистеми», враховують у цільовій функції (2.1).

Вочевидь, сукупні витрати на створення і забезпечення функціонування елементів систем управління, так само, як витрати (і збитки), пов’язані з іншими елементами надсистеми, мають призводити до зменшення сукупної вартості транспорту *G*, на часовому періоді, що враховує їх життєвий цикл.

Отже, розроблення, створення та забезпечення ефективного функціонування системи управління транспортною та суміжними галузями економіки у розглянутих вище та в інших частинах, потребує узгодженого системного підходу на основі прогнозування (моделювання) наслідків прийнятих рішень, що може бути реалізований із використанням описаних вище інструментів (також опубліковано автором у [340]).

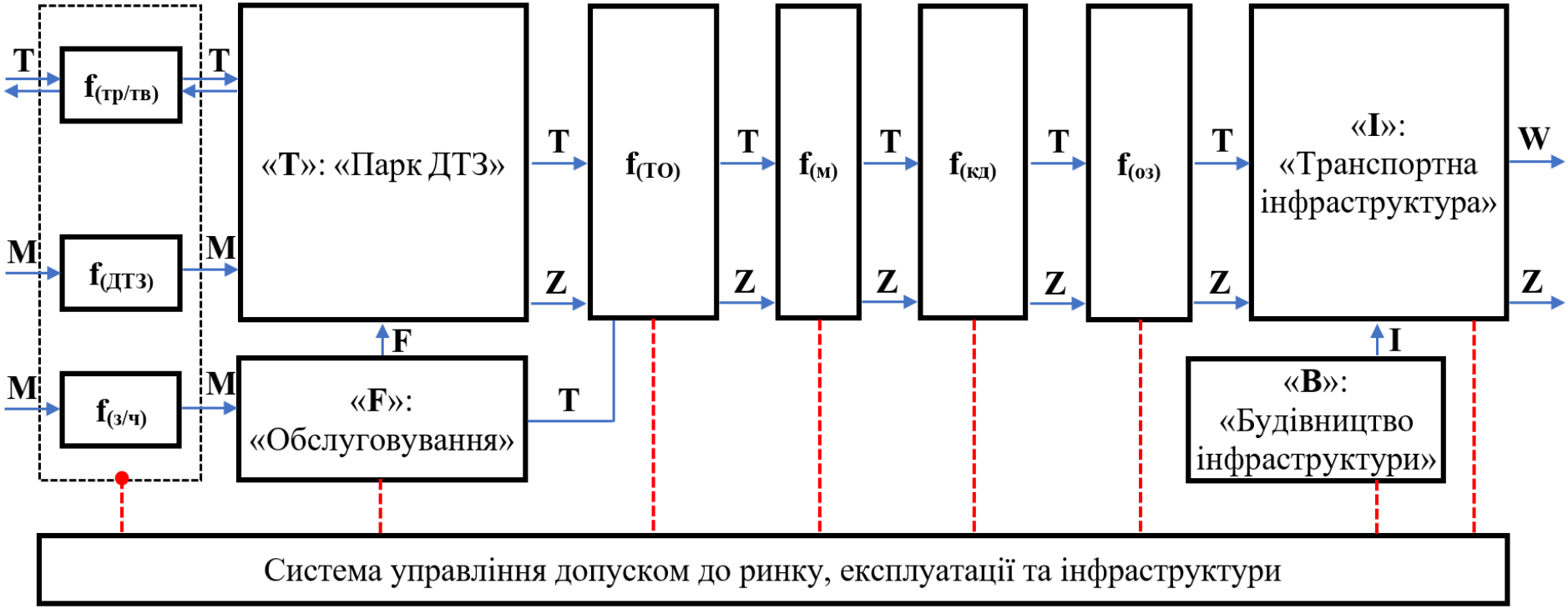


Рисунок 2.2. Окремі елементи системи управління шляхом регулювання доступу до ринку, експлуатації та інфраструктури

У підрозділі 2.4 наведено опис математичних моделей, що розроблені у роботі для вирішення завдань прогнозування наслідків та оптимізації конкретних варіантів рішень з технічного регулювання та інших видів управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні.

Результати математичного моделювання, отримані залежності, визначені пріоритети, оптимальні напрями і межі доцільного управління у визначеній сфері наведено у розділі 3.

2.4. Завдання математичних моделей системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

Нижче наведено опис завдань системного управління, та, функцій математичних моделей, що розроблені з метою отримання відповідей на такі, найбільш актуальні питання оптимізації.

1. Визначення рівнів доцільних та оптимальних екологічних вимог і вимог до енергоефективності конструкції ДТЗ та часових рамок їх впровадження в Україні, як обов’язкових (технічне регулювання), через інструменти екологічного маркетингу, та з використанням фіскальних інструментів впливу на рішення споживача (стимулювання).

Отже, має бути досліджено вплив впровадження певних вимог до конструкції ДТЗ (за різними можливими сценаріями) на динаміку зміни забруднення атмосферного повітря та використання енергії парком ДТЗ в країні та інтегральні показники в оглядовій перспективі.

Серед можливих сценаріїв, за прийнятою гіпотезою, мають існувати оптимальні з точки різних обраних критеріїв, як з огляду на потрібну (встановлену державними документами стратегічного планування) динаміку

можливого покращення ситуації з забрудненням довкілля та питомим споживанням енергії, так і за цільовою функцією (2.1).

2. Визначення впливу заходів із стимулювання та різних сценаріїв збільшення частки електромобілів у парку ДТЗ країни на сукупні викиди токсичних речовин у повітря, споживання первинної енергії, викиди парникових газів, необхідність введення нових електрогенеруючих потужностей, розвитку розподільчих мереж і відповідних витрат.

За прийнятою гіпотезою, мають існувати оптимальні (доцільні) темпи збільшення частки електромобілів за цільовою функцією (2.1), та, можливо, з огляду на досяжну динаміку покращення ситуації з локальним забрудненням довкілля, сукупними викидами парникових газів (з врахуванням можливих варіантів структури вироблення електроенергії) та питомим споживанням первинної енергії.

3. Визначення доцільних, диференційованих рівнів вимог, термінів впровадження та наступної дії зон низької емісії (екологічних зон) в містах на оглядову перспективу.

У віддаленій перспективі, коли в експлуатації залишаться виключно ДТЗ з «нульовим» рівнем емісії від безпосередньо силової установки, потреба у функціювання зон з низьким рівнім інгредієнтного забруднення зникне (тобто весь парк відповідатиме мінімально досяжному рівню екологічної небезпеки інгредієнтного забруднення).

За прийнятою гіпотезою, до настання такого стану, в кожний часовий період, з огляду на поступову зміну структури парку ДТЗ, мають існувати оптимальні (доцільні) рівні вимог для екологічних зон в містах.

4. Визначення оптимального (що змінюватиметься з часом) комплексу з наведених вище заходів та меж доцільного управління.

За прийнятою гіпотезою, в кожний часовий період, з огляду на поступову зміну структури парку ДТЗ, має існувати оптимальне (з огляду на різні

критерії оцінки) поєднання наведених вище та інших заходів з управління (які також розглянуто у розділах 5 і 6).

2.5. Розроблення математичних моделей та засобів їх практичної реалізації для системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами

Структура парку ДТЗ представлена в моделі на двох рівнях деталізації.

Перший агрегований рівень деталізації призначено для вирішення завдань прогнозування, другий, більш диференційований рівень орієнтований для вирішення завдань інвентаризації викидів (ретроспективний аналіз та реконструкція даних), та відповідає більш детальному розподілу ДТЗ на групи, як це визначено методологією Європейського Агентства навколишнього середовища та застосовується у розділі 7.

За агрегованим рівнем деталізації парк розподілений:

1) за основними видами ДТЗ: легкові автомобілі «PC»; легкий комерційний транспорт «LCV»; важкий комерційний транспорт «HDV»; автобуси; мототехніка «MT»;

2) за видом палива (енергії): бензин «P»; дизельне паливо «D»; зріджений нафтовий газ «LPG»; стиснений природний газ «CNG»; електроенергія «E»;

3) екологічним (технологічним класом): «Євро-0»; «Євро-1»; «Євро-2»; «Євро-3»; «Євро-4»; «Євро-5»; «Євро-6»; «Євро-6+»; «Євро-6++»; «Євро-7A» (в перспективі); «Євро-7B» (в перспективі); «EV» (поточні технології електромобілів); «EV-CR» (майбутні технології електромобілів).

Навіть за такою спрощеною класифікацію поєднання цих властивостей у практичній площині надає вже 104 групи ДТЗ. В моделі, розрахунки здійснюються окремо по кожній групі.

За необхідності подальшої деталізації модель доповнюється виокремленими групами, наприклад, гібридні авто та так звані підключаємі гібриди, ДТЗ, що використовують палива з високим вмістом біоетанолу або біодизеля, з розподілом автомобілів на групи за ваговою категорією, об’ємом двигуна, видом технології впорскування палива, технології нейтралізації відпрацьованих газів тощо.

У варіанті моделі, що застосовано для ретроспективного аналізу, кількість виокремлених груп ДТЗ вже перевищує 300 од., що є недоцільним розглядати для вирішення завдань прогнозування. В останньому випадку кожна агрегована група враховує розподіл і усереднені властивості різноманітних більш дрібних категорій ДТЗ, що можуть становити її основу в певні періоди часу.

Парк ДТЗ та його властивості у базовий рік та прогнозований період часу представлені сімействами мультимножин $A_{SF(\tau)}$, $A_{(y)n(\tau)}$, $A_{(y)s(\tau)}$, що, відповідно, описують групи ДТЗ, що були в структурі парку у базовому році, та груп нових ($_n$) ДТЗ і таких, що були в користуванні ($_s$) що було введено в експлуатацію у період $_{(y)}$, станом на період $_{(\tau)}$:

$A_{SF(\tau)} = \{A_{SF(2020)}, A_{SF(2021)}, A_{SF(2022)}, \dots, A_{SF(2050)}\}$,

де:

$A_{SF(2020)}$, що описує структуру і властивості парку у базовому 2020 році (з якого починають відлік часу в завданні прогнозування);

$A_{SF(2021)}$, $A_{SF(2022)}$, … , $A_{SF(2050)}$, що описують зміну кількості, активності і властивостей решти від ДТЗ, що входили до парку у 2020 р., і в наступні роки, у період до 2050 р.;

$$\begin{aligned} A_{(y)n(\tau)} = \{ & A_{2021n(2021)}, A_{2021n(2022)}, A_{2021n(2023)}, \dots, A_{2021n(2049)}, A_{2021n(2050)}; \\ & A_{2022n(2022)}, A_{2022n(2023)}, A_{2022n(2024)}, \dots, A_{2022n(2049)}, A_{2022n(2050)}; \\ & A_{2023n(2023)}, A_{2023n(2024)}, A_{2023n(2025)}, \dots, A_{2023n(2049)}, A_{2023n(2050)}; \\ & \dots \\ & A_{2048n(2048)}, A_{2048n(2049)}, A_{2048n(2050)}; \end{aligned}$$

$A_{2049n(2049)}$, $A_{2049n(2050)}$;

$A_{2050n(2050)}$};

що, відповідно, описують поповнення парку групами нових ДТЗ у 2021 р. і наступних роках до 2050 р., та подальшу зміну кількості, активності і властивостей решти від окремо кожної з цієї груп ДТЗ, на період до 2050 р.;

$A_{(y)s(\tau)}$ = {$A_{2021s(2021)}$, $A_{2021s(2022)}$, $A_{2021s(2023)}$, … , $A_{2021s(2049)}$, $A_{2021s(2050)}$;

$A_{2022s(2022)}$, $A_{2022s(2023)}$, $A_{2022s(2024)}$, … , $A_{2022s(2049)}$, $A_{2022s(2050)}$;

$A_{2023s(2023)}$, $A_{2023s(2024)}$, $A_{2023s(2025)}$, … , $A_{2023s(2049)}$, $A_{2023s(2050)}$;

…

$A_{2048s(2048)}$, $A_{2048s(2049)}$, $A_{2048s(2050)}$;

$A_{2049s(2049)}$, $A_{2049s(2050)}$;

$A_{2050s(2050)}$};

що, відповідно, описують поповнення парку групами ДТЗ, що були в користуванні, у 2021 р. і наступних роках до 2050 р., та подальшу зміну кількості, активності і властивостей решти від окремо кожної з цієї груп ДТЗ, на період до 2050 р.

Кожне з наведених вище сімейств мультимножин A_f складається з принаймні таких уніфікованих мультимножин:

A_f = {$N_{\tau 0}$, Y_0, N_v, τ, T_m, K_m, N_τ, M_0, T_{lm}, K_{lm}, EMF, MR_c, M_τ, V_{km}, SFC, TFC, EF_0, DF, $SRE_{(L\text{-}g/km)}$, $TRE_{(L)}$, $W_{(m)}$, $SRE_{(H\text{-}g/tkm)}$, $TRE_{(H)}$, TRE(S)},

де:

$N_{\tau 0}$ – об’єкти (види ($i \in K$) ДТЗ) з початку відліку часу;

Y_0 – середній вік у групах (i) об’єктів з початку відліку часу;

N_v – кількість об’єктів з початку їх експлуатації;

$n_{v(i)} = n_{\tau 0} / \exp(-(y_{0(i)}/T_{m(i)})^{Km(i)})$;

τ – поточний час;

T_m – параметр часу функції щільності розподілу Вейбула, що описує залишок ДТЗ з початку експлуатації;

K_m – степінь функції щільності розподілу Вейбула;

N_τ – поточна кількість об’єктів у групі;

$n_{\tau(i)} = n_{\tau 0} \times \exp\left(-\left(\tau_{(i)}/T_{m(i)}\right)^{Km(i)}\right)$;

M_0 – середній щорічний пробіг (активність) об’єктів у групі з початку експлуатації;

T_{lm} – параметр часу функції щільності розподілу Вейбула, що описує зменшення середніх щорічних пробігів ДТЗ у групі з початку експлуатації;

K_{lm} – степінь функції щільності розподілу Вейбула;

EMF – функція розподілу (флуктуації) зміни щорічних пробігів у групах, зумовлених макроекономічними факторами;

MR_c – функція розподілу активності між групами;

M_τ – поточний щорічний пробіг (активність) об’єктів у групі;

$m_{\tau(i)} = m_{0(i)} \times emf_{(i)} \times mr_{c(i)} \times \exp\left(-\left(\tau_{(i)}/T_{lm(i)}\right)^{Klm(i)}\right)$;

V_{km} – транспортна робота;

$v_{km(i)} = n_{\tau(i)} \times m_{\tau(i)}$;

SFC – питомі витрати палива (енергії), як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

TFC – сукупні витрати палива (енергії);

EF_0 – зведені питомі масові викиди забруднювальних речовин станом на початок експлуатації ДТЗ;

DF – функції зміни з часом питомих викидів забруднювальних речовин (врахування деградації технічного стану та екологічних властивостей ДТЗ);

$SRE_{(L\text{-}g/km)}$ – зведені питомі викиди легкових автомобілів;

$TRE_{(L)}$ – сукупні масові викиди забруднювальних речовин групами легкових автомобілів;

W_m – середня маса ДТЗ;

$SRE_{(H\text{-}g/tkm)}$ – зведені питомі викиди важкими ДТЗ (вантажні автомобілі та автобуси);

$TRE_{(H)}$ – сукупні масові викиди забруднювальних речовин групами важких ДТЗ;

$tre(h)_{(i)} = sre(h)_{(i)} \times W_{m(i)}$;

TRE(S) – сукупні масові викиди забруднювальних речовин парком ДТЗ в цілому;

$tre(s)_{(i)} = tre(l)_{(i)} + tre(h)_{(i)}$.

Зведені питомі викиди забруднювальних речовин розраховують, як це викладено у розділі 5. Показники питомого споживання енергії та питомі викиди окремих видів забруднювальних речовин (всього 64 види речовин у моделі) розраховують за методикою Європейського агентства навколишнього середовища (див. розділ 5), або за усередненими даними, або з врахуванням впливу різноманітних умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу (що дозволяє, наприклад, враховувати опосередковано вплив у часі розвитку транспортної інфраструктури, зміну властивостей палив, вплив зміни клімату тощо), із наступним коригуванням показників залежно від часу експлуатації (врахуванням деградації технічного стану та властивостей ДТЗ).

Сімейства мультимножин $FD_{(n)}$ і $FD_{(s)}$, описують, відповідно, процес поповнення парку групами нових ($_n$) ДТЗ і таких, що були в користуванні ($_s$) в кожний окремий період дискретизації часу, та складаються з принаймні таких уніфікованих мультимножин:

$FD = \{RR_p, N_p, N_c, EVs, EV_c, MD, MR_c, K_N, N, C_{VN}, V_{NA}, Y, T_m, K_m, EMF, M_0, T_{lm}, K_{lm}, F_P, F_D, F_{LPG}, F_{CNG}, F_E, EF_0, DF, NEF\}$,

де:

RR_p – функції розподілу у часі поповнення парку окремими групами ДТЗ за технологічним рівнем (рівнем «Євро» тощо);

N_p – функції розподілу у часі інтенсивності поповнення парку окремими групами ДТЗ;

N_c – функції розподілу у часі коригування інтенсивності поповнення парку за окремими категоріями ДТЗ;

EVs – функції опису зростання кількості електромобілів за окремими групами і категоріями ДТЗ, та функції розподілу ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння за типами, що заміщують електромобілями;

EV_c – функції розподілу ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння за технологічним рівнем, що заміщують електромобілями;

MD – відображення обсягів транспортної роботи за окремими типами ДТЗ, розрахунок інтегральних показників та індексів їх зміни у часі;

MR_c – індекси зміни у часі потреби у транспортній роботі;

K_N – розраховані поправочні коефіцієнти, що встановлюють кількість необхідного поповнення парку окремими групами ДТЗ, з врахуванням кількості ДТЗ, що вибувають з експлуатації, попереднього поповнення, та завданої інтенсивності зміни транспортної активності;

N – поповнення парку ДТЗ з різних груп, інтегральні показники, зміна у часі розподілу між окремими технологіями;

$n_{(i)(\tau)} = vna_{(i)(\tau)} \times rr_{p(i)(\tau)} \times n_{p(i)(\tau)} \times n_{c(i)(\tau)} \times ev_{c(i)(\tau)} \times mr_{c(i)(\tau)} \times k_{N(i)(\tau)}$;

C_{VN} – зміна у часі суми активних ДТЗ за типами та інтегральні показники;

V_{NA} – зведена кількість активних ДТЗ за попередні періоди часу;

Y – функції розподілу середнього віку ДТЗ, якими поповнюється парк (за типами та технологічним рівнем);

T_m – параметри часу функцій щільності розподілу Вейбула, що описують залишок ДТЗ з початку експлуатації;

K_m – степені функцій щільності розподілу Вейбула;

EMF – функції розподілу (флуктуації) зміни щорічних пробігів у групах, зумовлені макроекономічними факторами;

M_0 – середні щорічні пробіги (активність) об’єктів у групах з початку експлуатації;

T_{lm} – параметри часу функцій щільності розподілу Вейбула, що описують зменшення середніх щорічних пробігів ДТЗ у групах з початку експлуатації;

K_{lm} – степені функцій щільності розподілу Вейбула;

F_P – питомі витрати бензинів, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

F_D – питомі витрати дизельних палив, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

F_{LPG} – питомі витрати зрідженого нафтового газу, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

F_{CNG} – питомі витрати природного газу, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

F_E – питомі витрати електричної енергії електромобілями, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

EF_0 – зведені питомі масові викиди забруднювальних речовин станом на початок експлуатації ДТЗ, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу;

DF – функції зміни з часом питомих викидів забруднювальних речовин (врахування деградації технічного стану та екологічних властивостей ДТЗ);

NEF – зміна у часі національних значень вмісту вуглецю, щільності, нижчої теплоти згоряння, та коефіцієнтів викидів CO2 для різних видів моторних палив.

Сімейство мультимножин ASF використовується для розрахунку та відображення цільових функцій, зведених, інтегральних і питомих показників, та складається з принаймні таких мультимножин:

ASF = {$R_{(fleet)}$, $R_{(Act)}$, $R_{(Energy)}$, $R_{(Emission)}$, $R_{(Cost)}$, $R_{(Rel)}$, EMF, MR_c, G-S, N_s, N_{NC}, RedEm, CO_2, EnCons, $ECD_{(PJ)}$, Mil, SEC, Age, 2020, 2021, … , 2050, NEF},

де:

$R_{(fleet)}$ – зведені показники кількості та структури парку ДТЗ у часі;

$R_{(Act)}$ – зведені показники активності парку ДТЗ у часі;

$R_{(Energy)}$) – зведені показники сумарного споживання енергії парком ДТЗ у часі, із розподілом за видами енергії (палив) та групами ДТЗ;

$R_{(Emission)}$ – зведені показники сумарних викидів забруднювальних речовин парком ДТЗ у часі, із розподілом за видами енергії (палив) та групами ДТЗ, а також викиди забруднювальних речовин у суміжних секторах (викиди CO_2, пов’язані з виробництвом електроенергії для заряджання електромобілів тощо);

$R_{(Cost)}$ – макроекономічні розрахунки;

$R_{(Rel)}$ – зведені питомі та інтегральні показники споживання енергії та викидів забруднювальних речовин;

EMF – розрахунки коригування активності транспорту відповідно до флуктуацій макроекономічних показників;

MR_c – індекси зміни у часі потреби у транспортній роботі;

G-S – встановлення цільових показників, розрахунки похідних від параметрів, що становлять інтерес, зведеного споживання енергії та зведених викидів, розрахунки втрат енергії в ланцюжку її передачі для зарядження електромобілів та подальшого використання тощо;

N_s – розрахунок та аналіз зведених та дезагрегованих показників структури парку;

N_{NC} – розрахунки поправочних коефіцієнтів, що встановлюють кількість необхідного поповнення парку окремими групами ДТЗ, з врахуванням кількості ДТЗ, що вибувають з експлуатації, попереднього поповнення, та завданої інтенсивності зміни;

RedEm – розрахунки та аналіз за окремими групами ДТЗ зведених сумарних викидів токсичних забруднювальних речовин;

CO_2 – розрахунки та аналіз за окремими групами ДТЗ зведених сумарних викидів CO_2 з врахуванням зміни властивостей палив на ринку;

EnCons – розрахунки та аналіз зведених обсягів споживання моторних палив;

$ECD_{(PJ)}$ – розрахунки споживання моторних палив в енергетичному еквіваленті;

Mil – розрахунки обсягів транспортної роботи;

SEC – функції зміни у часі питомого споживання енергії окремими категоріями ДТЗ із розподілом за технологічним рівнем;

Age – розрахунки середнього віку активних ДТЗ в цілому в парку та за окремими типами ДТЗ;

2020 – зведені розрахунки показників $p_{(x)(2020)}$ за 2020 рік;

2021 – зведені розрахунки показників $p_{(x)(2021)}$ за 2021 рік;

…

2050 – зведені розрахунки показників $p_{(x)(2050)}$ за 2050 рік;

NEF – національні значення вмісту вуглецю, щільності, нижчої теплоти згоряння, та коефіцієнтів викидів CO_2 для різних видів моторних палив, що змінюються з часом.

Відповідно, за кожний період часу τ шукані параметри (x) системи $p_{(x)(\tau)}$, зокрема, загальну кількість активних ДТЗ в структурі парку, споживання різних видів енергії (палив), викиди забруднювальних речовин тощо, розраховують за спорідненими елементами мультимножин як:

$$p_{(x)(\tau)} = \sum_{i=1}^{K} (A_{SF(\tau)(x)i} + A_{(y)n(\tau)(x)i} + A_{SF(\tau)(x)i})$$

За наведеними вище й іншими показниками розраховують, зокрема, питомі показники, зокрема, споживання енергії та викиди забруднювальних речовин на одиницю пробігу, та їх зміну у часі (як для парку в цілому, так і для груп ДТЗ, що вперше потрапляють за кожний період дискретизації), що використовують, зокрема, як індикатори відслідковування реалізації на практиці тих чи інших сценаріїв розвитку транспорту під впливом заходів з управління для їх завчасного (поточного) коригування тощо.

Інтегральні показники $P_{(x)}$ за період часу τ_1 – τ_2 можна визначити відповідно як інтеграл:

$$P_{(x)} = \int_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} p_{(x)(\tau)}\, d\tau$$

На практиці $P_{(x)}$ розраховують за сумою значень за кінцеві періоди дискретизації часу.

Описані у підрозділі 2.4 мультимножини і засади системного підходу, як методологічна основа, та наведені у цьому підрозділі математичні моделі на практиці реалізовано у виді матриць із застосуванням стандартного продукту MS-Excel та спеціалізованого програмного забезпечення для автоматизації роботи з файлами та передачі даних між окремими розрахунковими модулями.

Великий загальний обсяг даних та обчислень в системі (2835 матриць з великим набором даних у кожній, та зв’язків між ними) унеможливлює одночасне завантаження в стандартний персональний комп’ютер всіх модулів і даних за період 2020-2050 рр., що розглядається. Використання паралельних обчислень потребує доступу до спеціалізованої обчислювальної техніки та накладає певні обмеження.

Тому розрахунки здійснюють послідовно (покроково) з завантаженням і вивантаженням спеціальних проміжних розрахункових модулів окремо для кожного року з розподілом ДТЗ на нові, та такі, що були в користуванні.

Модель побудована на модулях (рис. 2.3):

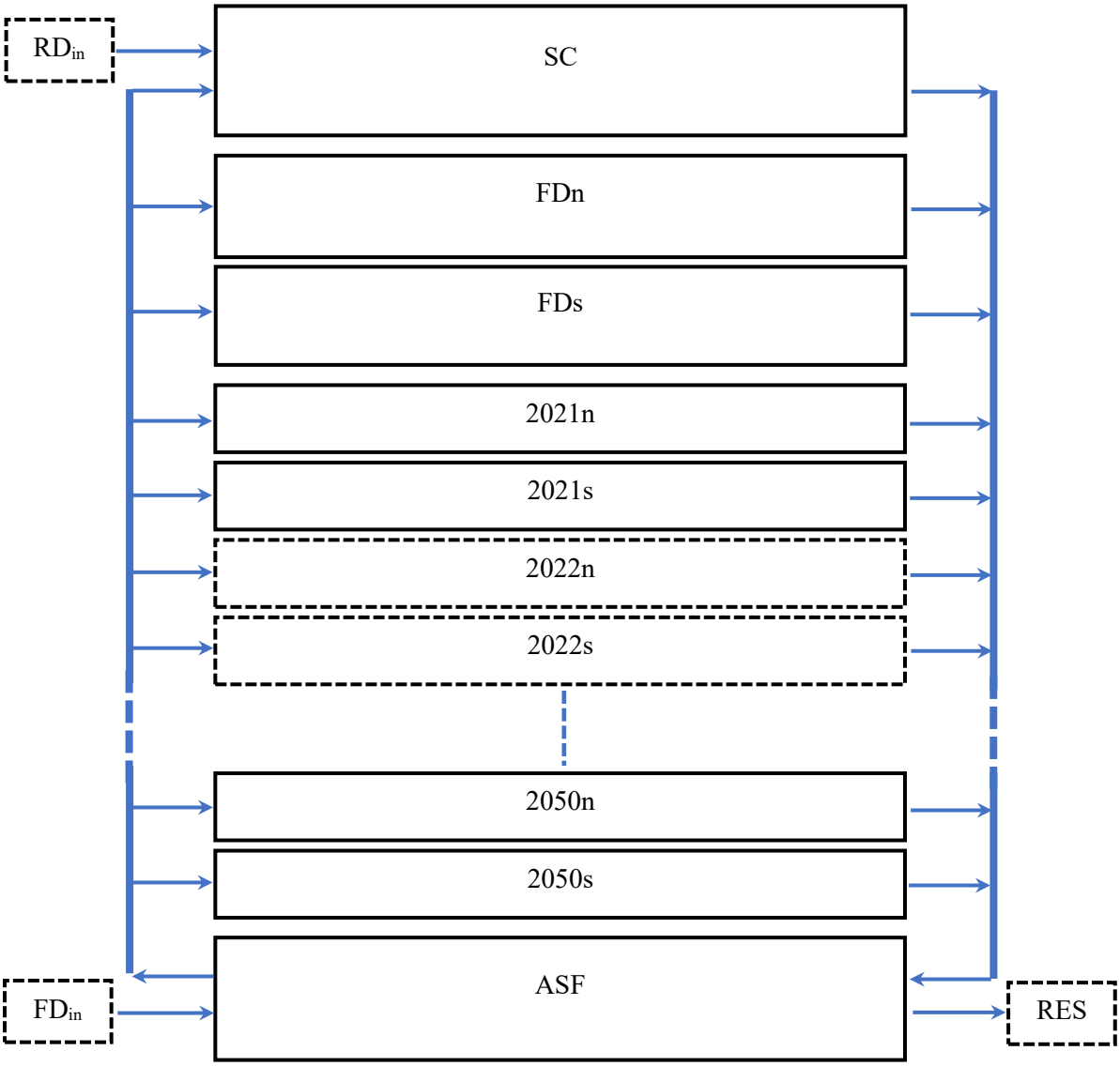


Рисунок 2.3 – Спрощене представлення модулів моделі та зв’язків між ними

- «SC», що описує наявний в цілому парк станом на початковий рік (в конкретному завданні прогнозування, що розглянуто у розділі 3, це 2020 р.) та подальші зміни у кожній групи ДТЗ, що враховують зменшення їх кількості (вибуття з експлуатації за визначеними функціями), зміну середніх щорічних

пробігів, середнього питомого споживання палива, середніх питомих викидів забруднювальних речовин, за визначеними функціями;

- «FDn» і «FDs», що описують властивості ДТЗ, що потрапляють до парку за кожний визначений проміжок часу (визначений як один рік);

- 60-ти проміжних розрахункових модулів «2021n», «2022n», …«2050n» і «2021s», «2022s», …«2050s» (по 30 модулів з окремими розрахунками для груп, відповідно, нових ДТЗ, і ДТЗ, що були в користуванні);

- «ASF», що здійснює інтегральні розрахунки за вихідними даними модулів «FDn» і «FDs», та за результатами, отриманими в модулях «SC», «2021n», «2022n», …«2050n» і «2021s», «2022s», …«2050s» за попередній рік, розраховує частину вихідних даних для розрахунків в «SC», «FDn», «FDs» та сімействі модулів 2021n», «2022n», …«2050n» і «2021s», «2022s», …«2050s» на кожний наступний рік покроково.

Модуль «SC» отримує від модуля «ASF» вихідні дані щодо поточної транспортної активності через блоки «EMR» і «MRc».

Блок «1990-2020» модуля «SC» містить вихідні дані (ретроспективні дані RD_{in}) щодо парку ДТЗ у базовому 2020 р. (отриманими у розділі 7 за результатами моделювання за період 1990-2020 рр.) та функції, що описують зміну властивостей кожної групи активних ДТЗ станом на 2020 р. в наступні періоди часу.

Сімейство блоків «e-VT-F» модуля «SC» з розрахунком зміни з часом коефіцієнтів викидів забруднювальних речовин кожною категорією ДТЗ.

В сімействі блоків «2021», «2022», … «2050» модуля «SC» здійснюють розрахунки зміни у часі властивостей кожної групи ДТЗ за визначеними показниками та інтегральні показники щодо загальної кількості активних ДТЗ, пробігів, споживання різних видів палив (енергії) та викидів забруднювальних речовин.

Модулі «FDn» і «FDs» містять ідентичні блоки:

- «RRp» з вихідними даними щодо структуру за екологічним класом ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в країні;

- «ND» для розрахунків динаміки оновлення парку за кожною категорією (у тому числі із використанням зворотних цільових функцій);

- «NC» для врахування локальних відмінностей в структурі та за часом поповнення парку;

- «EVS» з вихідними даними і розрахунками в частині заміщення парку «традиційних» ДВЗ та електромобілі;

- «EVc» - матриця розподілу «традиційних» ДВЗ та електромобілі з часом за окремими групами;

- «MD» розрахунку інтегральних пробігів за окремими групами ДТЗ;

- «MRc» коригування пробігів за окремими групами ДТЗ в часі;

- «KN» балансового розрахунку потреби у щорічної кількості поповнення ДТЗ за кожною групою, з врахуванням ДТЗ, що виводять з експлуатації;

- «N» розрахунку кількості щорічного поповнення ДТЗ за окремими групами за даними з блоків «VNA», «RRp», «NP», «NC», «EVc», «MRc», а також інтегральних показників;

- «CVN» передачі інтегральних даних щодо структури парку за попередній розрахунковий рік;

- «VNA» матриця передачі даних по окремим групам ДТЗ;

- «Y» встановлення та розрахунку зміни середнього віку по групам ДТЗ;

- «Tm» встановлення «базового» середнього терміну експлуатації по групам ДТЗ;

- «Km» встановлення характеру (функції) виводу з експлуатації по групам ДТЗ;

- «EMF» вплив «локальних» макроекономічних флуктуацій на транспортну активність;

- «M0» розрахунку середніх пробігів по групам ДТЗ з початку їх експлуатації;

- «TLm» встановлення «базового» середнього терміну активної експлуатації по групам ДТЗ;

- «KLm» встановлення характеру (функції) зміни щорічних пробігів по групам ДТЗ залежно від терміну експлуатації;

- «P» розрахунку зміни середніх питомих витрат бензину по групам ДТЗ;

- «D» розрахунку зміни середніх питомих витрат дизельного палива по групам ДТЗ;

- «LPG» розрахунку зміни середніх питомих витрат зрідженого нафтового газу по групам ДТЗ;

- «CNG» розрахунку зміни середніх питомих витрат стисненого природного газу по групам ДТЗ;

- «E» розрахунку зміни середніх питомих витрат електроенергії по групам електромобілів;

- «EF0» із усередненими зведеними питомими викидами забруднювальних речовин на початку експлуатації по групам ДТЗ;

- «DF» функції зміни з часом (з пробігом) питомих викидів забруднювальних речовин по групам ДТЗ;

- сімейство блоків «e-VT-F» з розрахунком зміни з часом коефіцієнтів викидів забруднювальних речовин кожною категорією ДТЗ, ідентичне за структурою модулю «SC», але (так як й інші блоки, також містить дані щодо нових видів ДТЗ, що додаватимуться з часом в парк ДТЗ.

Сімейство модулів «2021n», «2022n», …«2050n» і «2021s», «2022s», …«2050s» кожний містить ідентичні за структурою, але диференційовані за часом сімейства блоків «2021», «2022», … «2050»:

- «I», однойменних з блоками «FDn» і «FDs» блоків «N», «Y», «Tm», «Km», «M0», «TLm», «KLm», «P», «D», «LPG», «CNG», «E», «EF0», «DF» передачі та проміжного зберігання вихідних даних від модулів «SC», «FDn», «FDs» та «ASF»;

- сімейство ідентичних за структурою модулю «SC» блоків «2021», «2022», … «2050», в яких здійснюють розрахунки зміни у часі властивостей кожної групи ДТЗ за визначеними показниками та інтегральні показники щодо загальної кількості активних ДТЗ, пробігів, споживання різних видів палив (енергії) та викидів забруднювальних речовин.

Модуль «ASF», що містить блоки:

- сімейство «2021», «2022», … «2050» з 30 блоків для розрахунку інтегральних показників, зведених у кожному році в однойменних блоках модуля «SC» та сімейства з 60-ти проміжних розрахункових модулів «2021n», «2022n», …«2050n» і «2021s», «2022s», …«2050s»;

- «R(fleet)» аналізу змін в структурі (часові тренди, розподіли тощо) в цілому парку та по окремим групам ДТЗ;

- «R(act)» аналізу змін в активності (часові тренди, розподіли тощо) в цілому парку та по окремим групам ДТЗ;

- «R(energy)» аналізу змін в споживання різних видів палив та енергії (часові тренди, розподіли тощо) в цілому парком та по окремим групам ДТЗ;

- «R(emission)» аналізу змін в сумарних викидах забруднювальних речовин (часові тренди, розподіли тощо) в цілому парком та по окремим групам ДТЗ;

- «R(rel)» аналізу змін в середніх питомих показниках споживання енергії та викидів забруднювальних речовин (часові тренди, розподіли тощо) в цілому парком та по окремим групам ДТЗ;

- «R(cost)» аналіз макроекономічних показників;

- «EMF» розрахунку та узгодження у часі зведених показників активності парку;

- «MRc» коригування показників активності окремо по категоріям і в часі з врахуванням тимчасових (локальних) макроекономічних флуктуацій, кон’юнктури ринків тощо;

- «G-S» розрахунку зведених інтегральних показників діяльності парку та встановлення цільових функцій змін за визначеними показниками, розрахунку викидів CO2 та інших забруднювальних речовин в електроенергетиці, пов'язані із зарядженням електромобілів, з врахуванням змін в структурі електрогенерації;

- «Number» детального аналізу структури парку по видам ДТЗ та їх розподілу;

- «NNC» розрахунків диференційованих у часі показників необхідного поповнення парку в цілому та за окремими видами ДТЗ;

- «Reduced Em» детального аналізу зведених викидів забруднювальних речовин по видам ДТЗ та їх розподілу;

- «CO2» розрахунку та аналізу викидів CO2 з врахуванням змін у часі в структурі ринку моторних палив;

- «Energy Cons» детального аналізу споживання енергії по видам ДТЗ та розподілу;

- «ECD(PJ)» розрахунку обсягів споживання енергії;

- «Mileage» детального аналізу зміни щорічних по видам ДТЗ та розподілу;

- «SpecEnCons» детального аналізу зведених показників питомого споживання енергії по видам ДТЗ та розподілу;

- «Age» розрахунку та аналізу вікової структури парку в цілому та окремо по групам;

- «NEF_Ukraine» вихідні дані щодо національних значень нижчої теплоти, вмісту вуглецю, густини та інших показників моторних палив, розраховані у розділі 7 роботи;

- «NEF(MJ)» дані щодо змін нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку;

- «NEF(CO2MJ)» розрахунку питомих викидів CO2 на одиницю енергії.

Прогнозні макроекономічні та інші дані FD_{in} є одними з входів моделі, що визначають, зокрема, активність парку, а також кліматичні умови, розподіл умов руху ДТЗ, вплив цих та інших факторів на витрату палива та викиди окремих забруднювальних речовин, базові значення яких розраховують з використанням методології EEA, та потім коригують за визначеними функціями залежно від загального пробігу ДТЗ кожної групи з початку експлуатації, періоду експлуатації з врахуванням деградації систем контролю токсичності ДТЗ, розраховують зведені викиди забруднювальних речовин як це описано у розділі 5.

Розрахунки споживання первинної енергії та викидів забруднювальних речовин в інших елементах системи (рис. 2.1), наприклад, пов’язані з виробництвом електроенергії для електромобілів, здійснюють в окремих модулях за аналогічними підходами.

Стислі приклади окремих видів результатів (RES) моделювання, що отримують, представлено у розділі 3.

2.6. Перевірка адекватності математичних моделей

Адекватність підходів і математичних моделей, описаних у розділі 2, перевірялась в ретроспективному аналізі, зокрема, шляхом порівняння результатів моделювання з наявними даними щодо витрати палива парком ДТЗ в країні. Ці підходи було використано автором в рамках роботи з верифікації обсягів споживання моторних палив транспортним сектором в контексті щорічної підготовки Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні (додаток А.11).

На рис. 2.4 показано суму всіх видів моторних палив, спожитих дорожнім транспортом (I_R (AF)) відповідно до офіційного Національного кадастру 2017 р. подання, та результати моделювання (M_R (AF)).

На рис. 2.5 наведена різниця між моделлю (реконструкцією) і Кадастром щодо споживання енергії моторних палив дорожнім і позашляховим транспортом (у відсотках).

На рис. 2.4 відокремлено інтервал, в якому значення різниці між моделлю (реконструкцією) і Кадастром щодо споживання енергії моторних палив дорожнім і позашляховим транспортом не перевищує ±5%.

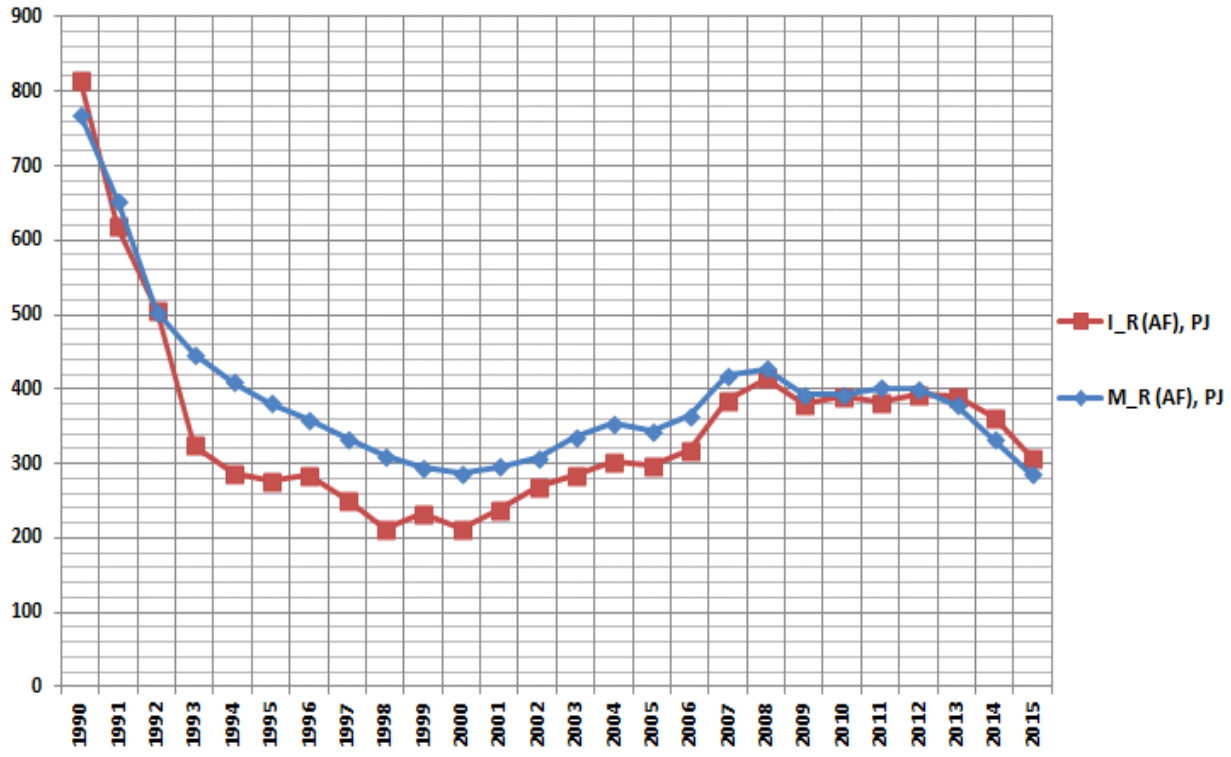


Рисунок 2.4 – Сума всіх видів моторних палив, спожитих дорожнім транспортом (I_R (AF) – Кадастр 2017 р. подання, M_R (AF) – Модель), ПДж

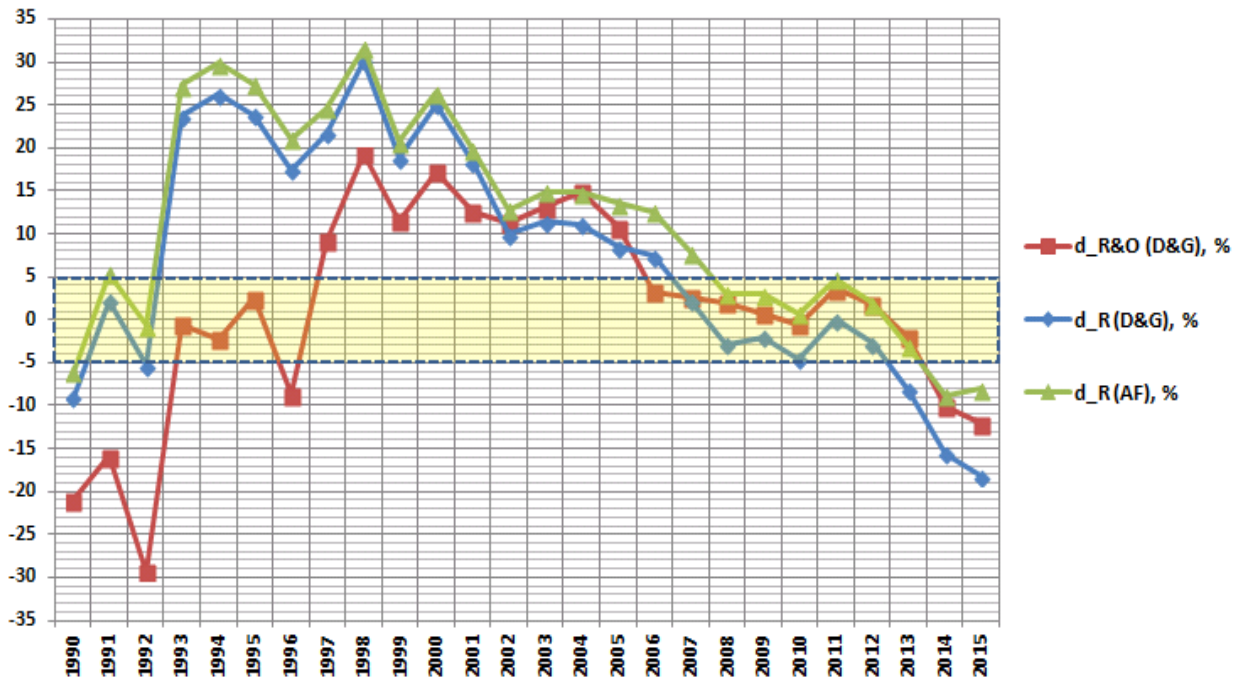


Рисунок 2.5 – Різниця між моделлю і Кадастром щодо споживання енергії моторних палив дорожнім і позашляховим транспортом, %

Різниця між моделлю і Кадастром щодо сумарного споживання енергії бензинів і дизельного палива дорожнім і позашляховим транспортом не перевищує 5% у 1993-1995 рр. та у 2006-2013 рр.

Різниця між моделлю і Кадастром щодо сумарного споживання енергії бензинів і дизельного палива виключно дорожнім транспортом не перевищує 5% у 1991-1992 рр. та у 2007-2012 рр.

Різниця між моделлю і Кадастром щодо сумарного споживання енергії всіх видів моторних палив (бензинів, дизельного палива, стисненого природного газу та зрідженого нафтового газу) виключно дорожнім транспортом не перевищує 5% у 1992 р. та у 2008-2013 рр.

Значні відхилення в окремі часові періоди між моделлю і офіційними статистичними даними пояснюються специфікою останніх (неповні дані, тіньовий ринок та інші фактори, зокрема особливостями перерозподілу споживання моторних палив між різними секторами).

З огляду на здійснений аналіз часових рядів із співставленням різних економічних даних, зазначені вище підходи з моделювання було використано не тільки для верифікації, але і для уточнення офіційних статистичних даних (відповідний акт про впровадження результатів Держстатом додається у додатку В).

2.7. Висновки до розділу 2

1. Розроблено концепцію, систему, що її реалізує, та математичний апарат системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

2. Це дозволило у розділі 3 вперше в системний спосіб визначити оптимальні напрями і межі доцільного системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні.

3. Розроблений математичний апарат та засоби його практичної реалізації дозволяють вирішувати окрім наведеного й інші, актуальні завдання системного управління у галузі, але розгляд яких виходить за рамки цієї роботи.

РОЗДІЛ 3.
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ НАПРЯМІВ, ПРІОРИТЕТІВ І МЕЖ ДОЦІЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ЗАБРУДНЕННЯМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ В УКРАЇНІ

З використанням методологічних підходів і математичних моделей, розроблених у розділі 2, та вихідних даних, описаних у розділі 7, а також з використанням вихідних даних, отриманих у розділі 5 на основі технологій проведення випробування ДТЗ, описаних у розділі 4, здійснено розрахунки з метою прогнозування зміни у часі структури, чисельності та активності парку ДТЗ в Україні, споживання різних видів енергії та обсягів викидів забруднювальних речовин за різними сценаріями соціально-економічного розвитку країни та варіантами державного регулювання у цій сфері.

3.1. Опис макроекономічних сценаріїв та варіантів управління, за якими виконано математичне моделювання розвитку та зміни структури парку, споживання енергії та викидів забруднювальних речовин

За базовий та оптимістичний сценарій соціально-економічного розвитку країни прийнято надані наприкінці 2020 р. до Міндовкілля, Мінінфраструктури та до ДП «ДержавтотрансНДІпроект» оцінки Інституту економіки та прогнозування НАН України у звіті «Support to the government of Ukraine on updating its nationally determined contribution (NDC)», також розміщені на web-сайті Міндовкілля [341].

Результати моделювання наведено в основному для періоду до 2030 року, але охоплюють також і період до 2050 року, де це є важливим з точки зору прогнозування довгострокових наслідків різних варіантів управління у цій сфері, враховуючи значну «інерцію» в зміні структури автомобільного парку

з часом. Прогнозуванню на період до 2050 р. природньо властивий значний рівень невизначеності. Але довгострокові прогнози на період до 2050 р. надають вихідні дані для важливих висновків щодо наслідків доступних варіантів управління у цій сфері. Прогнозування на період до 2030 р. пов'язано із значно меншим ступенем невизначеності вихідних даних та потребує окремого розгляду у масштабі, відповідному змінам, що можуть відбуватися за цей період.

З огляду на наведене вище, там, де це є доцільним, показано окремо графічне представлення зміни показників в період 2020-2030 рр. та в період, що охоплює 2020-2050 рр.

Сценарії, що розглянуто, мають умовне позначення за номером стосовно макроекономічного прогнозу та у дужках позначено номер варіанту управління у цій сфері.

Основна частина прикладів результатів моделювання, наведених у цьому розділі, відповідають макроекономічному сценарію, що за транспортною активністю є наближеним до базового сценарію соціально-економічного розвитку країни, розробленим Інститутом економіки та прогнозування НАН України (макроекономічний сценарій № 1).

За цим, дещо скоригованим (з огляду на поточну макроекономічну ситуацію станом на кінець 2020 р. – початок 2021 р., та динамікою розвитку економіки за останні 5 років) сценарієм може бути прийнято для розрахунків зростання транспортної активності у секторі орієнтовно на 161 % від рівня 2020 р., що у значній мірі зумовлено поступовим задоволенням попиту на володіння та користування приватними легковими автомобілями в Україні.

Окремо розглянуто оптимістичний сценарій № 2, наближений до оптимістичного сценарію Інституту економіки та прогнозування НАН України із дещо прискореним (до 179 % від рівня 2020 р.) зростанням транспортної активності.

Також стисло розглянуто прогноз наслідків за сценарієм економічної стагнації (сценарій № 3).

Перший варіант розрахунків за наведеними сценаріями виконано для варіанту управління, за яким прийнято існуючу (відповідно до законодавства, чинного на момент завершення написання роботи) політику у сфері регулювання екологічних вимог, та вимог до енергоефективності ДТЗ, що вперше реєструють та вводять в експлуатацію на території України. Ці сценарії та відповідний поточний варіант управління позначено як № 1(1), № 2(1) та № 3(1).

Далі, за реалізації умов базового макроекономічного сценарію № 1, було виконано математичне моделювання розвитку за різними варіантами управління, серед яких у роботі уявляється доцільним навести такі граничні сценарії:

Варіант управління № 2, що передбачає впровадження стандартів на показники питомої витрати палива та, відповідно, викидів парникових газів для ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в Україні. Відповідно, цей сценарій позначено як № 1(2).

Варіант управління № 3, що передбачає заходи із стимулювання прискореного «вибухоподібного» зростання частки електромобілів в структурі парку. Відповідно, цей сценарій позначено як № 1(3).

Варіант управління № 4, що поєднує заходи за наведеними вище варіантами № 2 і № 3. Відповідно, цей сценарій позначено як № 1(4).

Зазначені вище варіанти управління змодельовано як граничні (на межі теоретично можливого за експертними оцінками). Таким чином, реальний розвиток з високою ймовірністю може бути передбачений в межах цих сценаріїв.

Варіант управління № 5 передбачає повернення в законодавчу площину регулювання екологічних властивостей до ДТЗ, що були в користуванні.

Загалом, розроблений у розділі 2 методологічний підхід і математичні моделі дозволяють здійснювати прогнози розвитку за численними варіантами та на різних рівнях деталізації, але розгляд всього спектру можливостей виходить за межі цього дисертаційного дослідження.

У роботі наведено лише основні зведені результати моделювання, що дозволяють сформулювати найбільш істотні висновки в частині визначення оптимальних напрямів (пріоритизації) і меж доцільного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в Україні.

3.2. Базовий макроекономічний сценарій № 1(1) за умов поточного варіанту управління

На рис. 3.1 і рис. 3.2 показано прогнози зміни загальної кількості активних ДТЗ та структури парку ДТЗ в Україні за рівнем екологічних стандартів «Євро» за варіантом встановлення норм «Євро-6» з 1 січня 2025 р. для нових автомобілів, як це передбачено законодавством (Законом України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та проведення першої державної реєстрації транспортних засобів»), та практичною відсутністю екологічних вимог до автомобілів, що були в користуванні (встановлені вимоги «Євро-2» вже є морально застарілими та відповідають транспортним засобам, що за віком та технічним станом переважно виведені з експлуатації в інших країнах).

Наведено динаміку зміни загальної кількості ДТЗ, та кількості ДТЗ різних екологічних класів «Євро» та електромобілів «EV».

На рис. 3.3 і рис. 3.4 показано прогнози зміни структури парку ДТЗ в Україні за рівнем екологічних стандартів «Євро» за цим варіантом (розподіл у відсотках) із наведенням частки електромобілів «EV».

На рис. 3.5 і рис. 3.6 показано прогнози зміни загальної кількості активних легкових автомобілів.

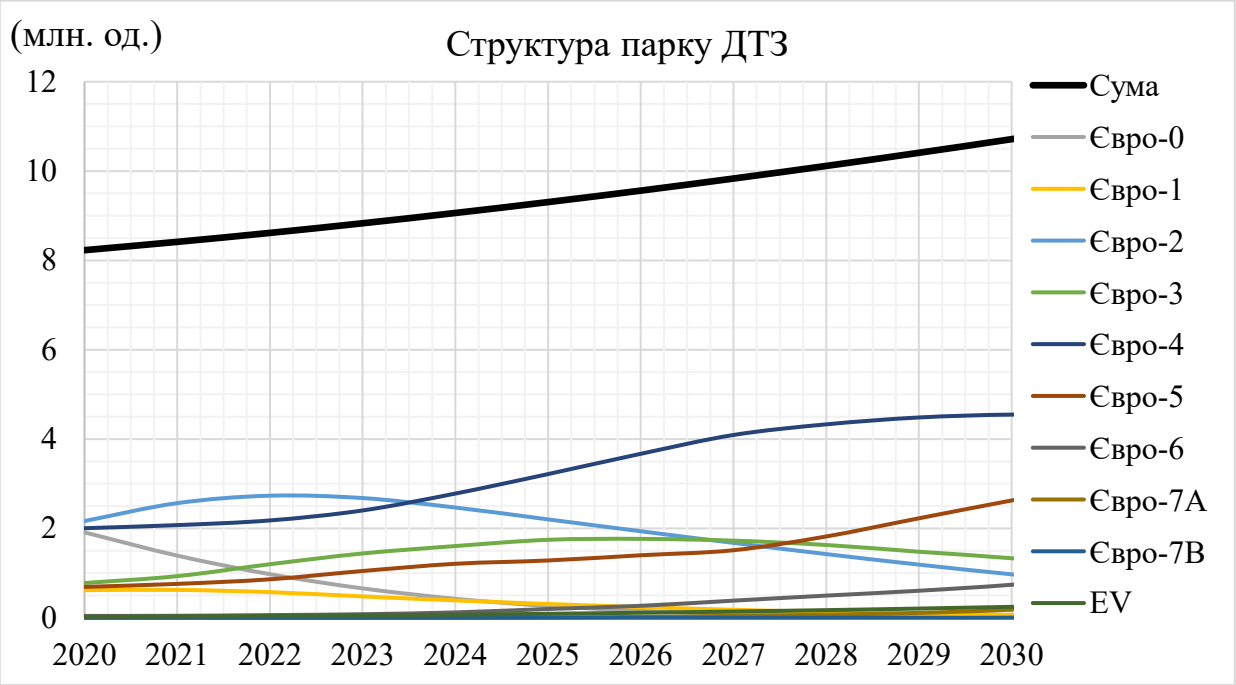


Рисунок 3.1 – Структура парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

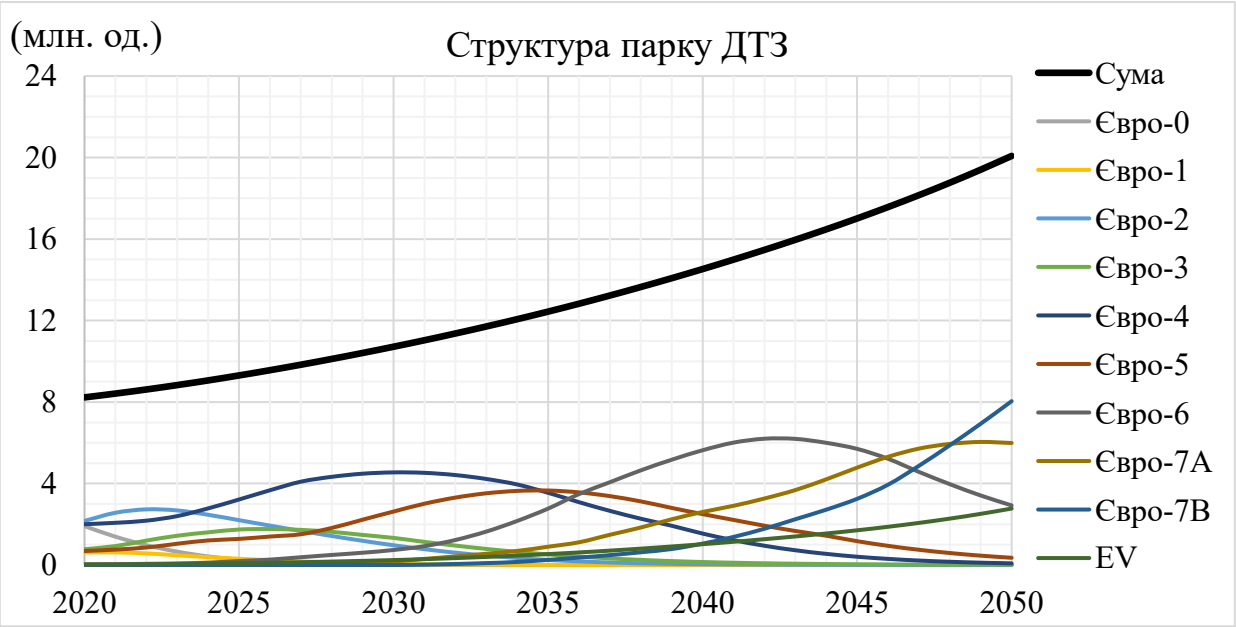


Рисунок 3.2 – Структура парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

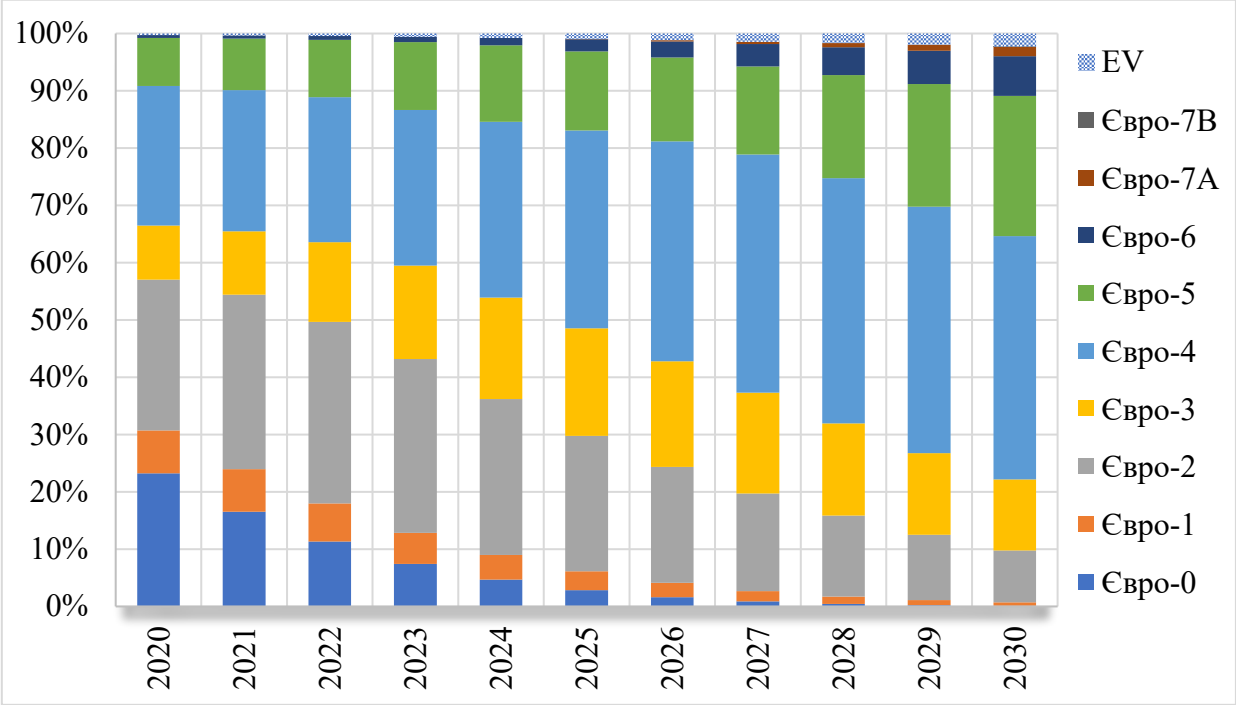


Рисунок 3.3 – Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

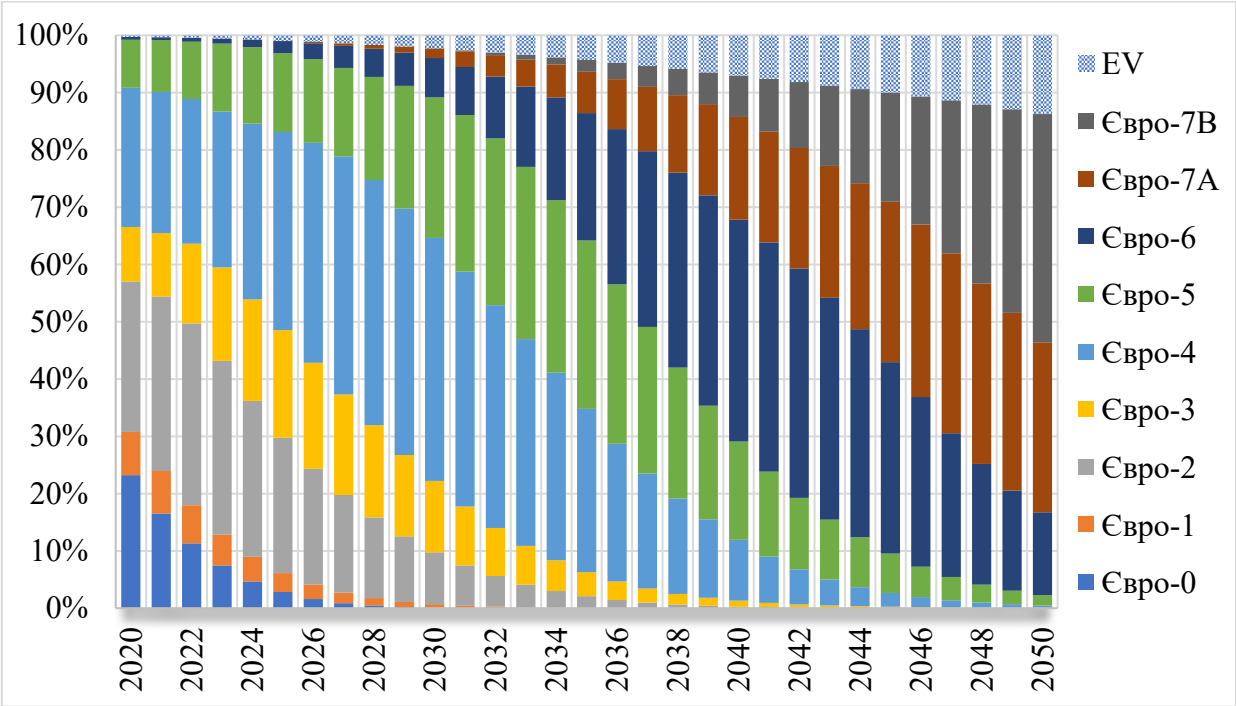


Рисунок 3.4 – Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

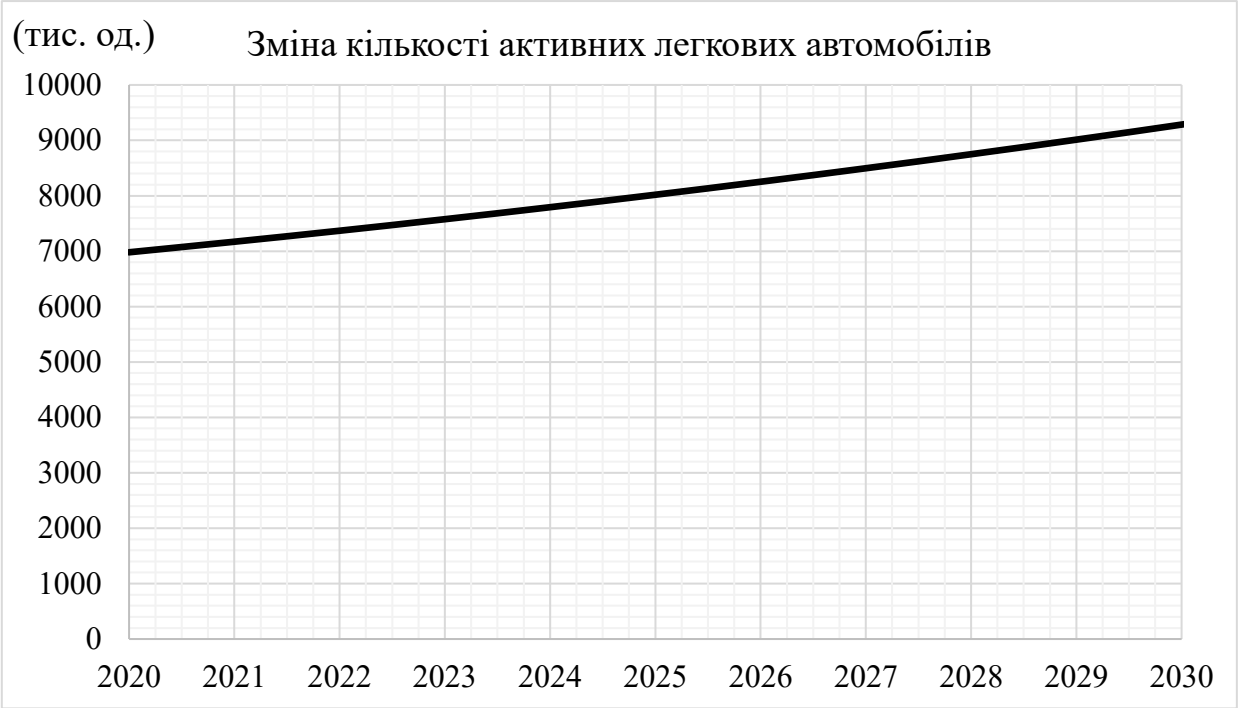


Рисунок 3.5 – Зміна кількості активних легкових автомобілів (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

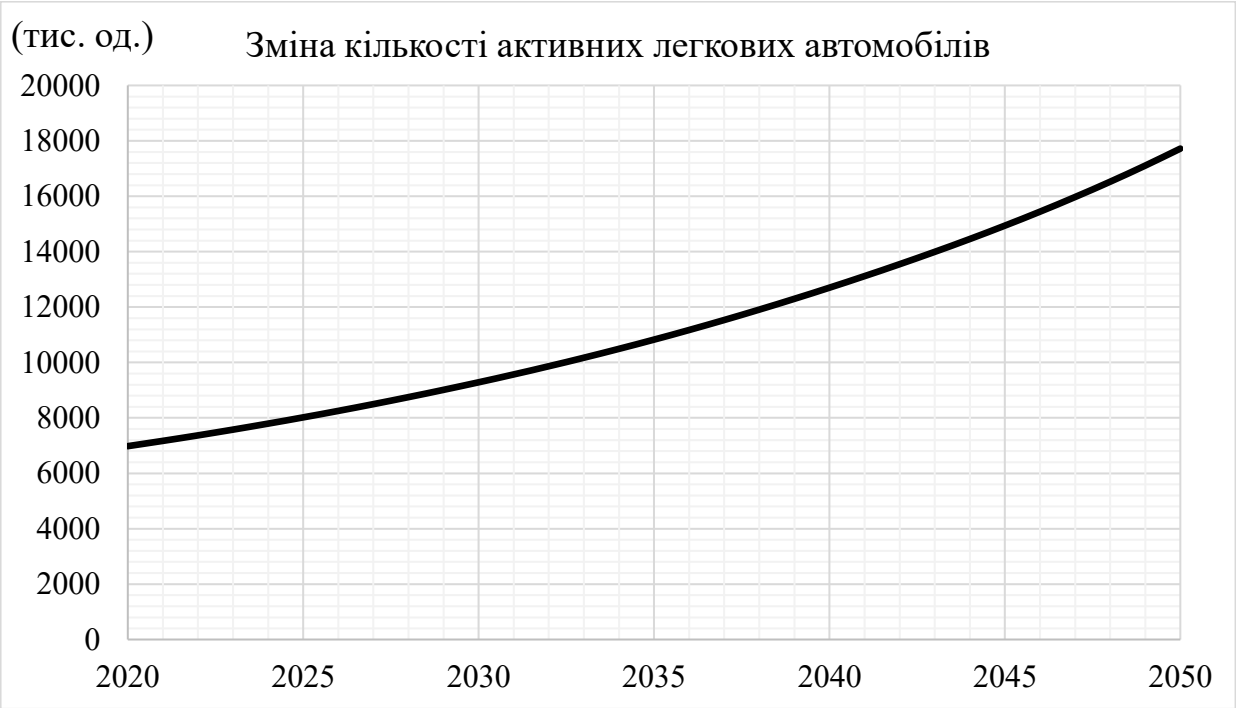


Рисунок 3.6 – Зміна кількості активних легкових автомобілів (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

На рис. 3.7 і рис. 3.8 показано прогнози зміни загальної кількості інших активних ДТЗ за видами.

За прийнятими позначеннями:

- «LCV» – легкий комерційний транспорт (повною масою, в основному, до 3,5 т);
- «HDV» – важкий комерційний транспорт (повною масою вище 3,5 т);
- «Bus» – автобуси;
- «MT» – мототехніка.

Загальновизнані стислі абревіатури «LCV» і «HDV» не мають офіційно визначеного аналогу українською, що зумовило їх використання у роботі.

На рис. 3.9 і рис. 3.10 показано прогноз зміни загального щорічного пробігу парком ДТЗ в Україні.

На рис. 3.11 і рис. 3.12 показано прогноз зміни споживання енергії парком ДТЗ в Україні.

На рис. 3.13 показано розподіл зміни споживання парком ДТЗ в Україні різних видів моторних палив (енергії).

На рис. 3.14 показано розподіл зміни споживання енергії автомобільним парком в Україні за видами ДТЗ.

На рис. 3.15 показано прогноз зміни викидів CO_2 дорожнім транспортом в Україні у млн. т. на період до 2030 р.

На рис. 3.16 показано прогноз зміни викидів CO_2 дорожнім транспортом в Україні у відсотках від законодавчо встановленого рівня у 60 % від рівня 1990 р. на період до 2030 р.

На рис. 3.17 показано прогноз зміни викидів CO_2 дорожнім транспортом в Україні у млн. т. на період до 2030 р.

На рис. 3.18 показано прогноз зміни викидів CO_2 дорожнім транспортом в Україні у відсотках від законодавчо встановленого рівня у 60 % від рівня 1990 р. на період до 2030 р.

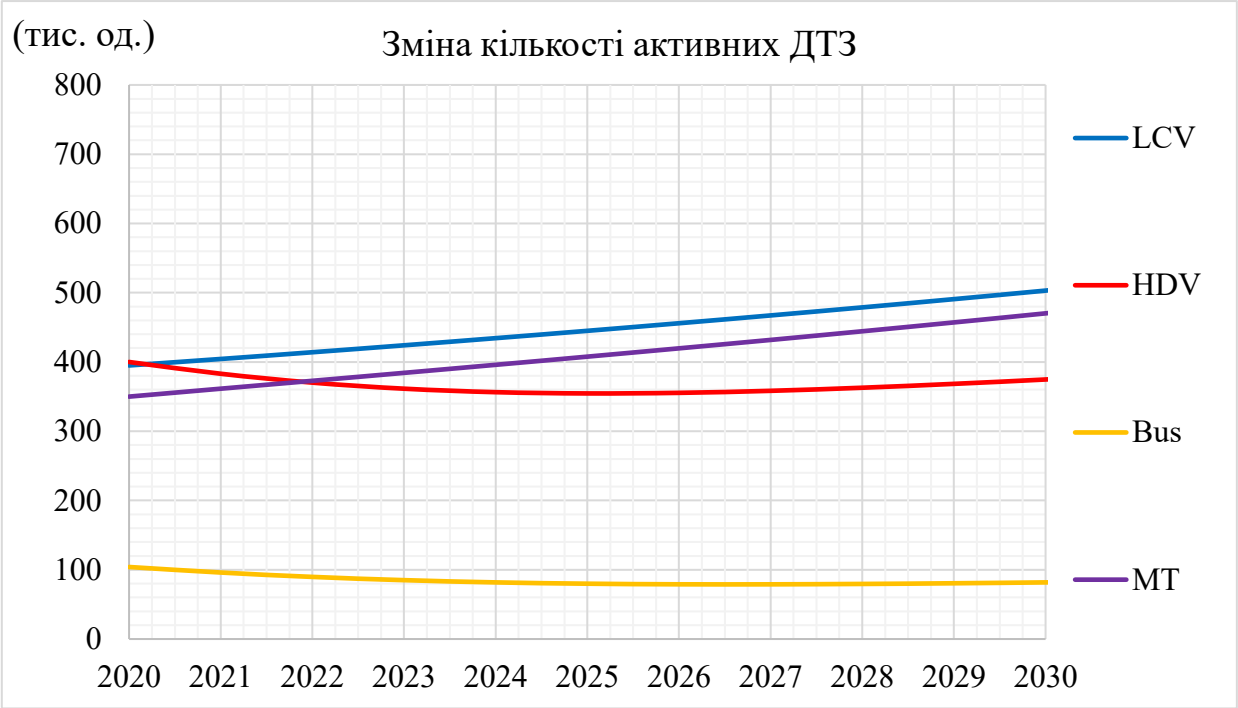


Рисунок 3.7 – Зміна кількості активних ДТЗ за видами (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

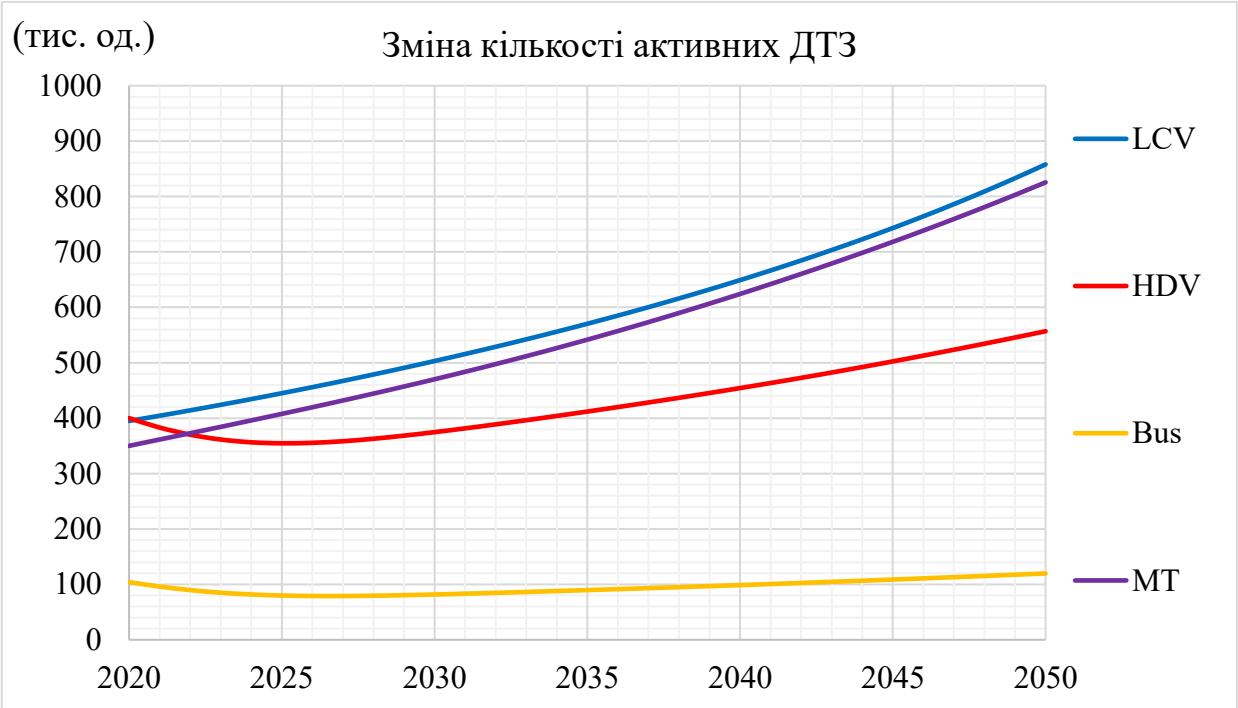


Рисунок 3.8 – Зміна кількості активних ДТЗ за видами (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.9 – Загальний щорічний пробіг парком ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

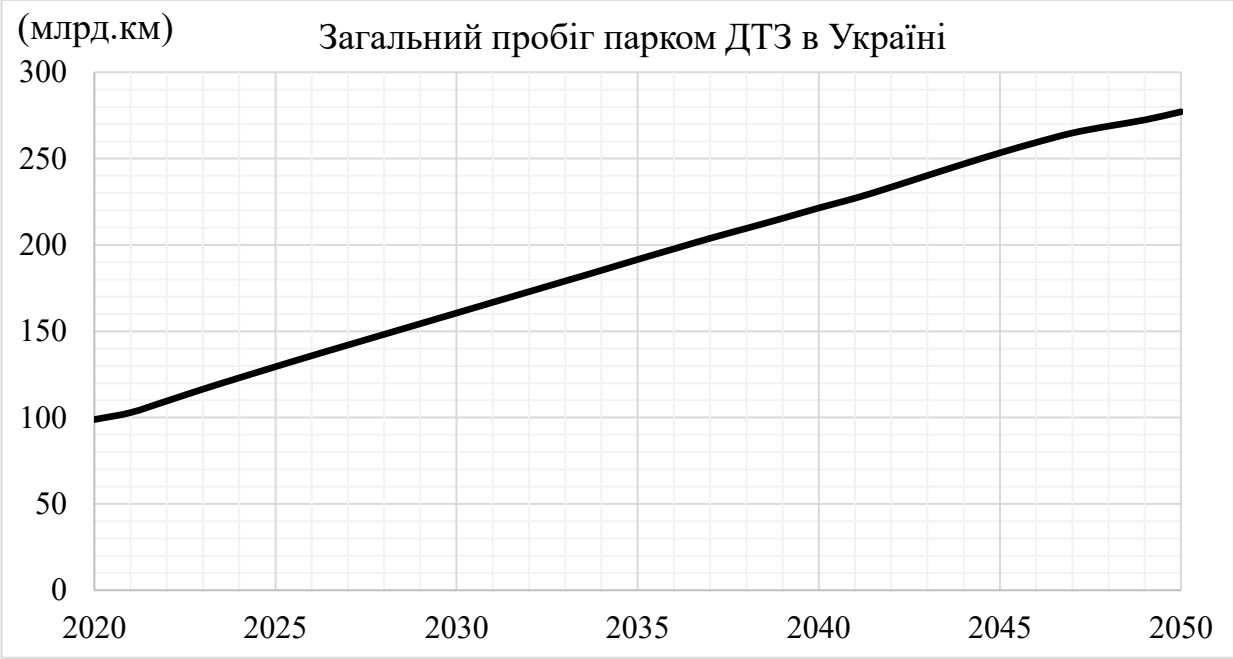


Рисунок 3.10 – Загальний щорічний пробіг парком ДТЗ в Україні (за умов збереження тенденцій базового сценарію № 1(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.11 – Споживання енергії парком ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

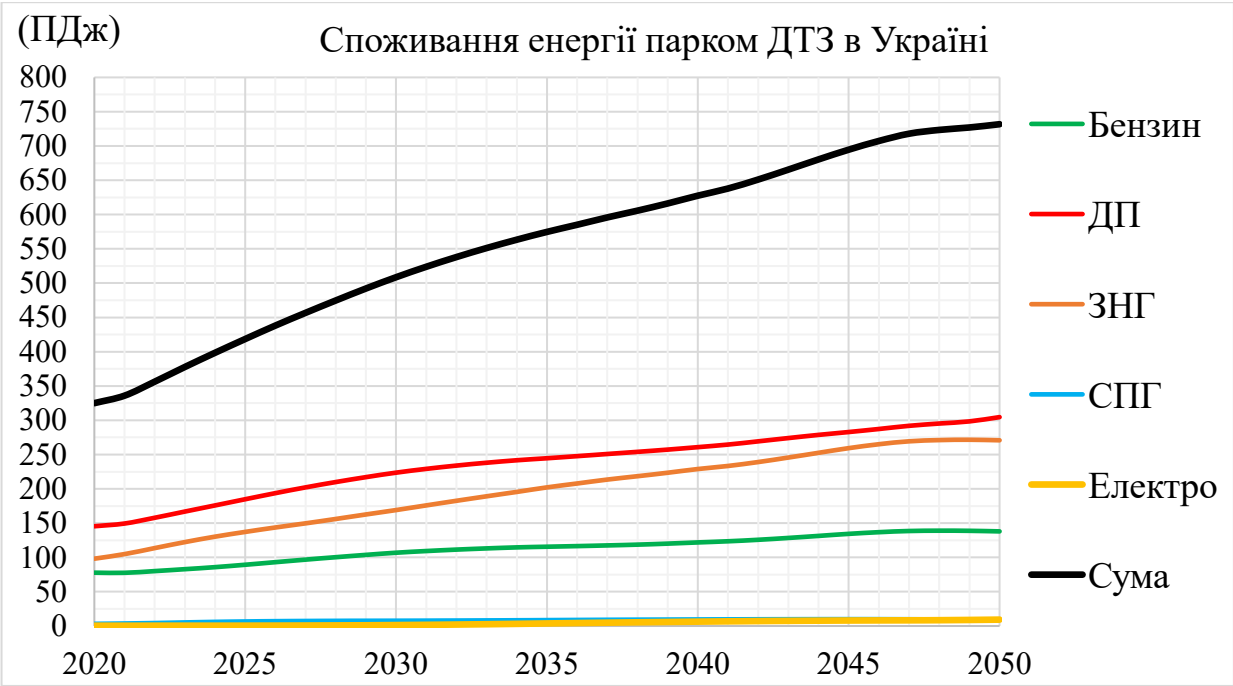


Рисунок 3.12 – Споживання енергії парком ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

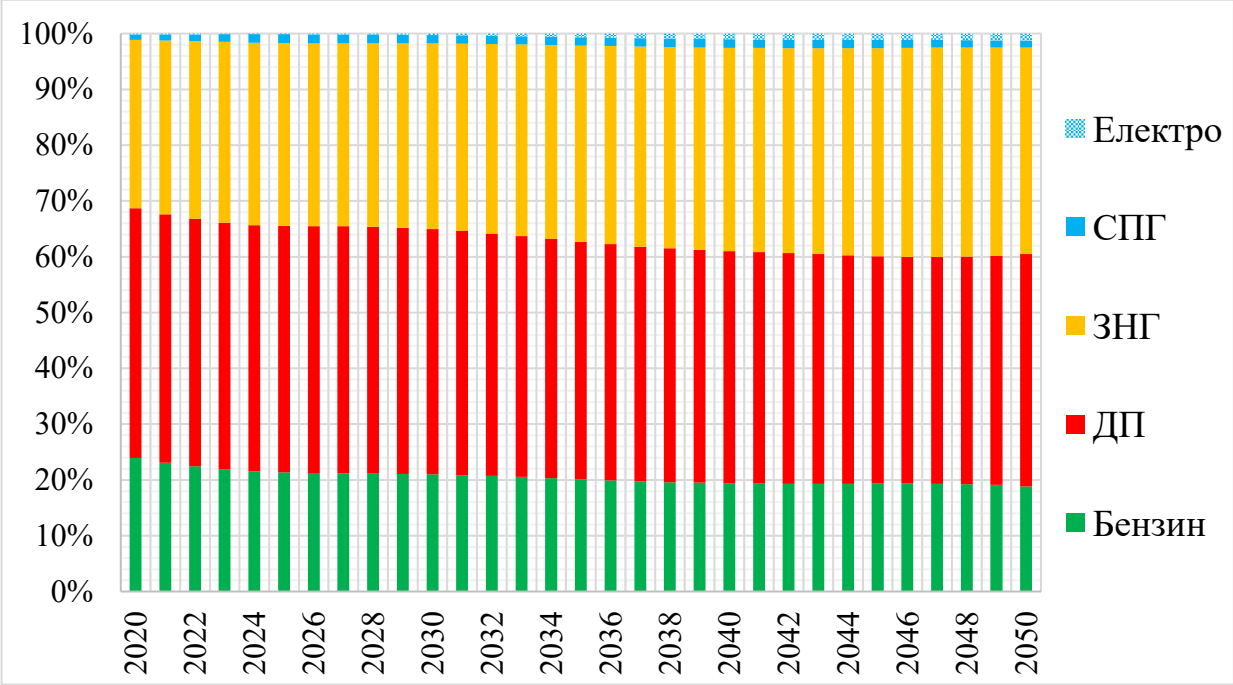


Рисунок 3.13 – Розподіл споживання парком ДТЗ в Україні різних видів моторних палив та енергії (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

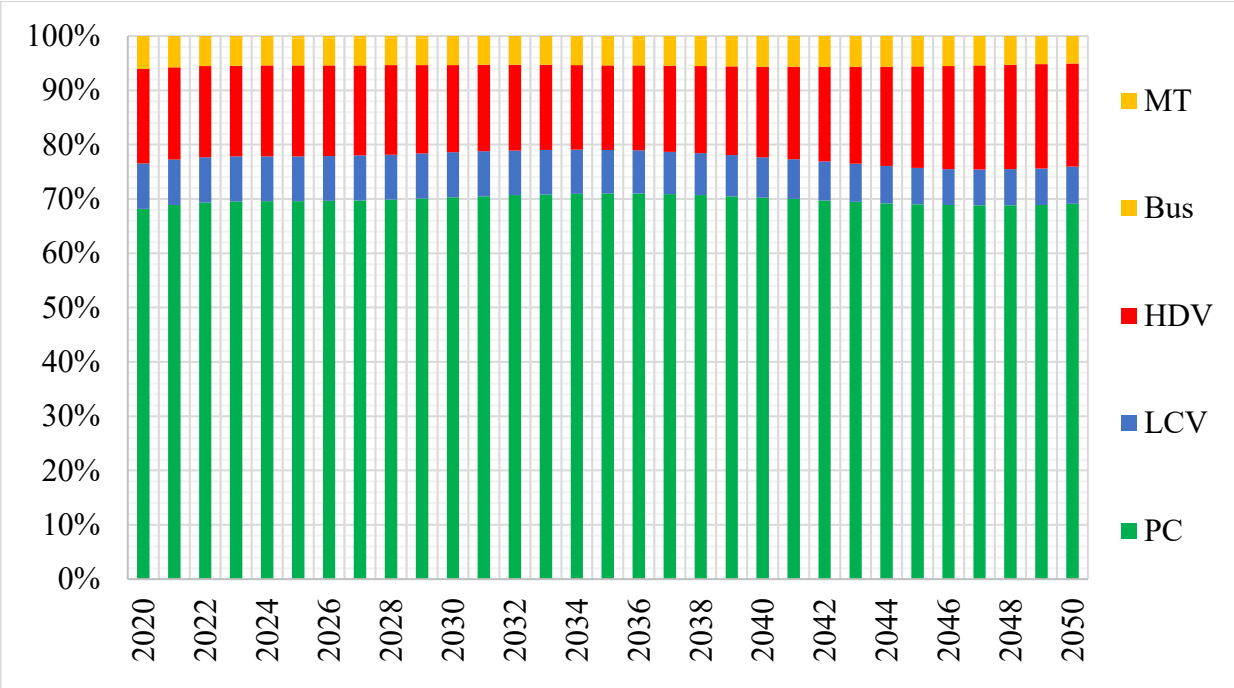


Рисунок 3.14 – Розподіл споживання енергії автомобільним парком в Україні за видами ДТЗ (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

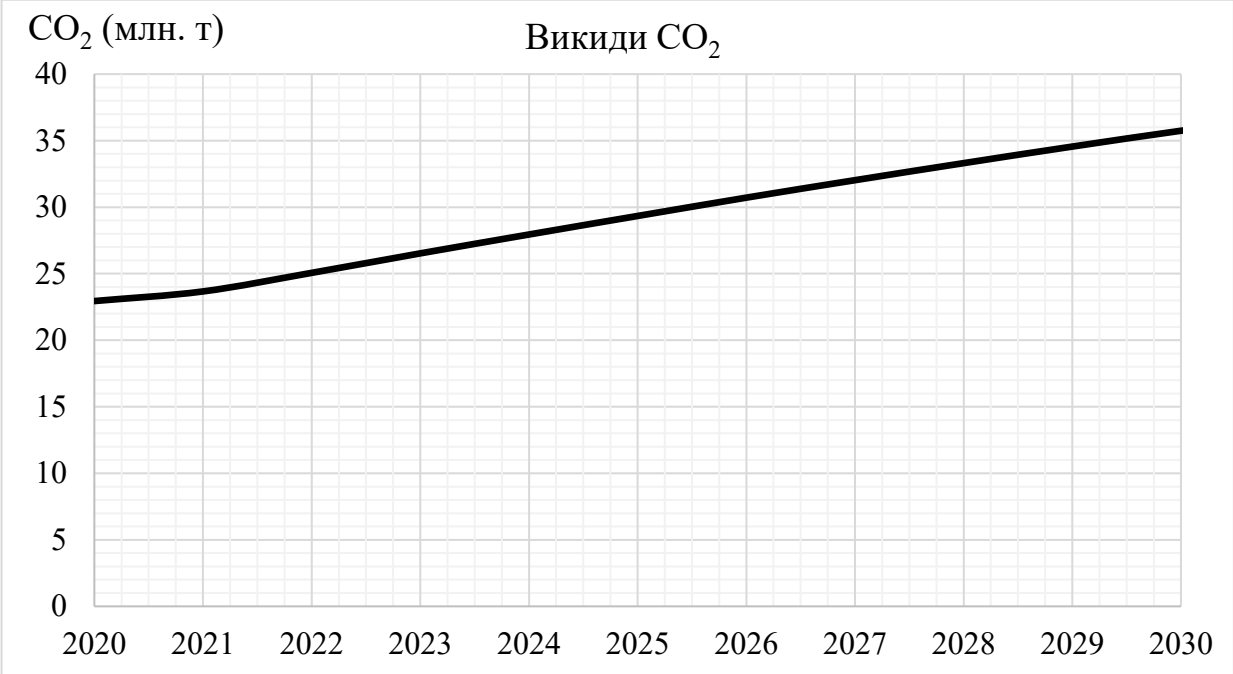


Рисунок 3.15 – Викиди CO_2 дорожнім транспортом в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

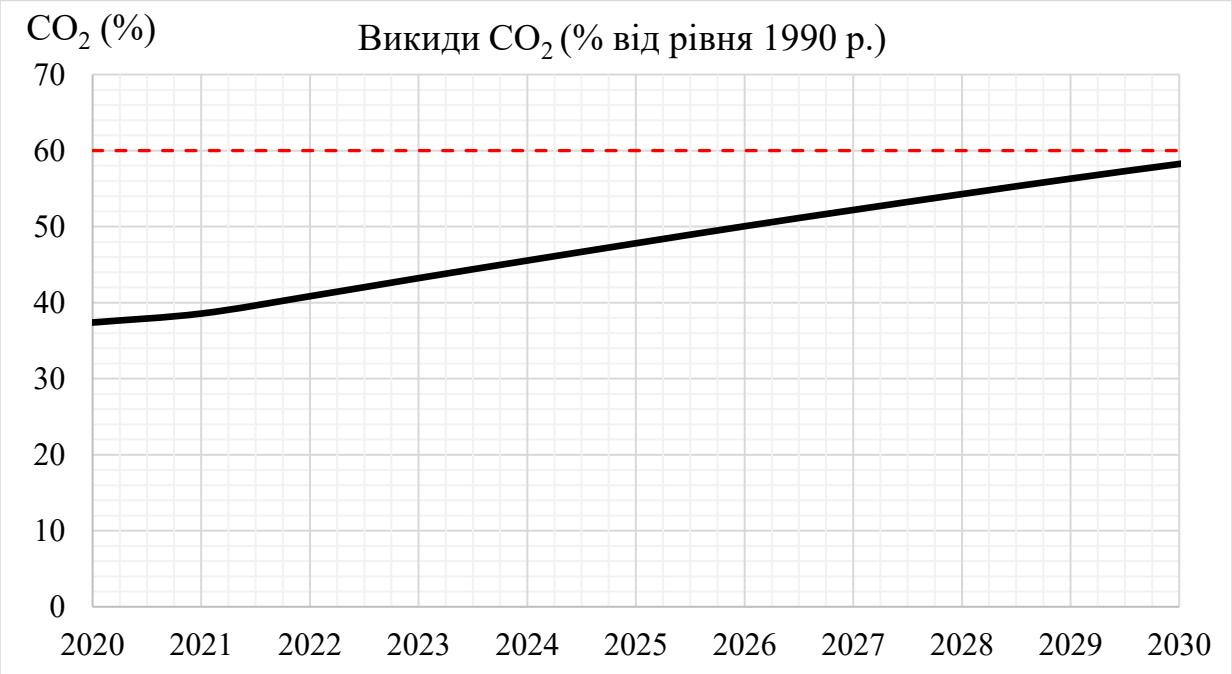


Рисунок 3.16. Викиди CO_2 (% від рівня 1990 р.) (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

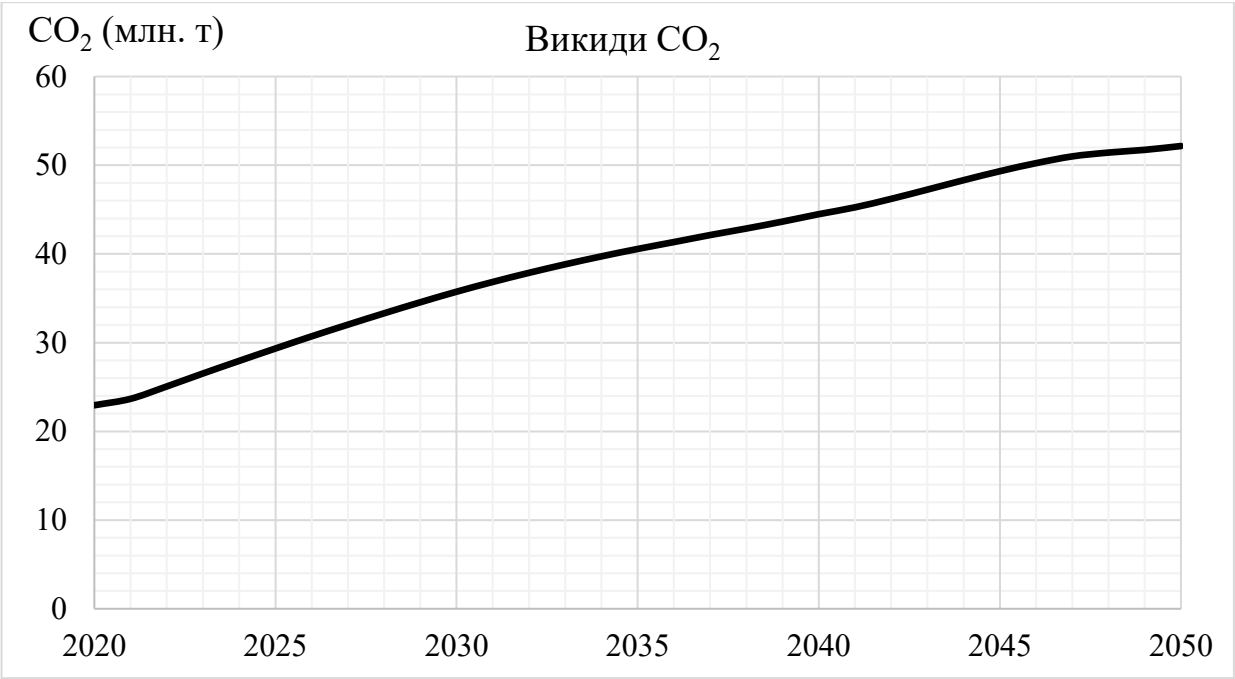


Рисунок 3.17 – Викиди CO_2 дорожнім транспортом в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

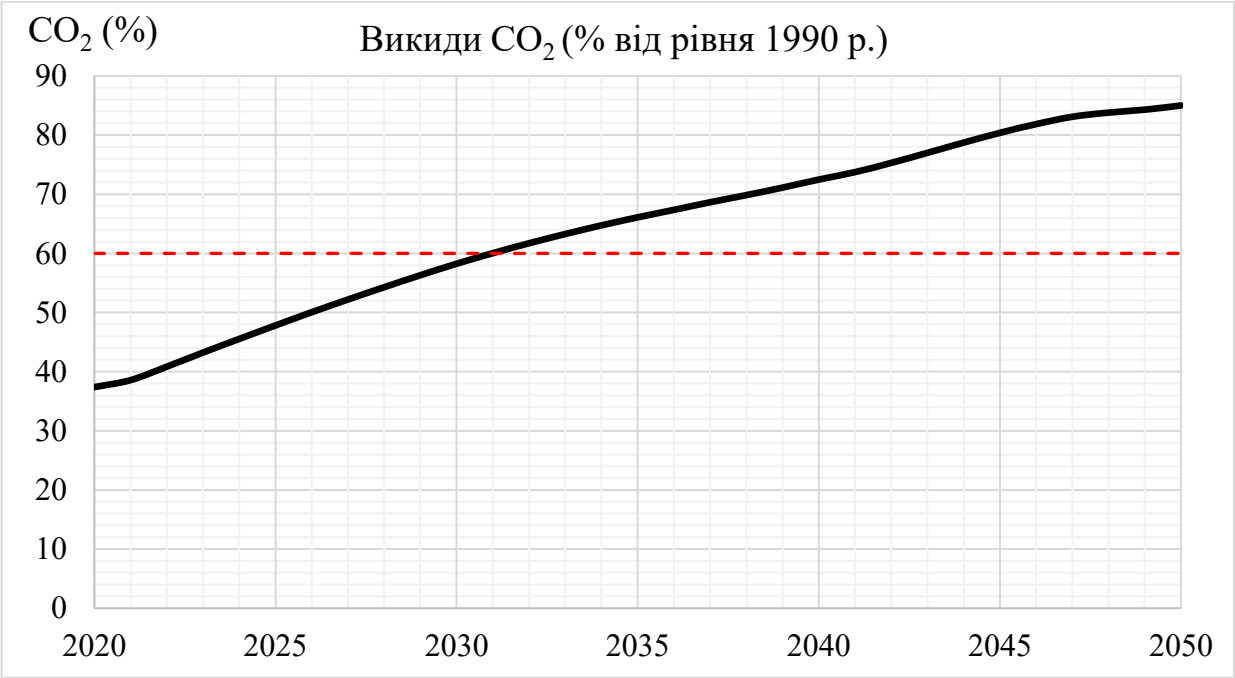


Рисунок 3.18 – Викиди CO_2 (% від рівня 1990 р.) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

На рис. 3.19 і рис. 3.20 показано прогноз зміни викидів CO_2 дорожнім транспортом в цілому та від використання різних видів палив (енергії) на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

На графіках позначено, зокрема:

- «CO2(A)» – викиди CO_2 безпосередньо дорожнім транспортом;

- «Електро» – викиди CO_2 у секторі електроенергетиці (розраховані за незмінної структури електрогенерації), пов'язані із заряджанням електромобілів, що враховують втрати енергії в процесі перетворення і транспортування електроенергії, заряджання, зберігання та наступного використання енергії в акумуляторних батареях;

- «Сума» – сума викидів CO_2 безпосередньо автомобілями та викидів від електрогенерації, пов'язаних з заряджанням електромобілів.

- «60%-1990» – 60% рівня викидів дорожнім транспортом від рівня 1990 р.

На рис. 3.21 і рис. 3.22 показано прогноз зміни зведених до CO викидів забруднювальних речовин дорожнім транспортом в цілому та від окремих груп, диференційованих за екологічним класом «Євро», а також від електромобілів «EV» (продукти зношування) на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

На рис. 3.23 і рис. 3.24 показано прогноз зміни зведених до CO викидів забруднювальних речовин ДТЗ різного екологічного класу «Євро», а також від електромобілів «EV» (продукти зношування) на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

На рис. 3.25 і рис. 3.26 показано прогноз зміни зведених до CO викидів забруднювальних речовин від використання різних видів енергії, а також від електромобілів «EV» (продукти зношування) на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

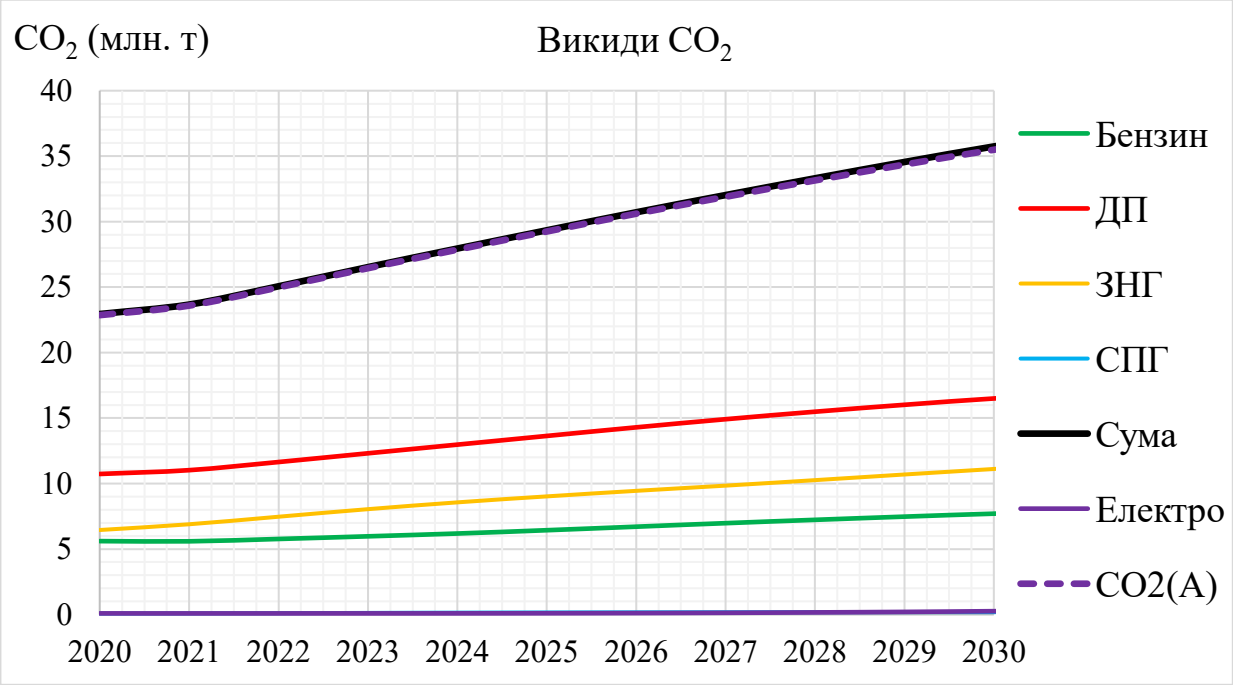


Рисунок 3.19 – Викиди CO_2 дорожнім транспортом в Україні з розподілом за видами палива (енергії) (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

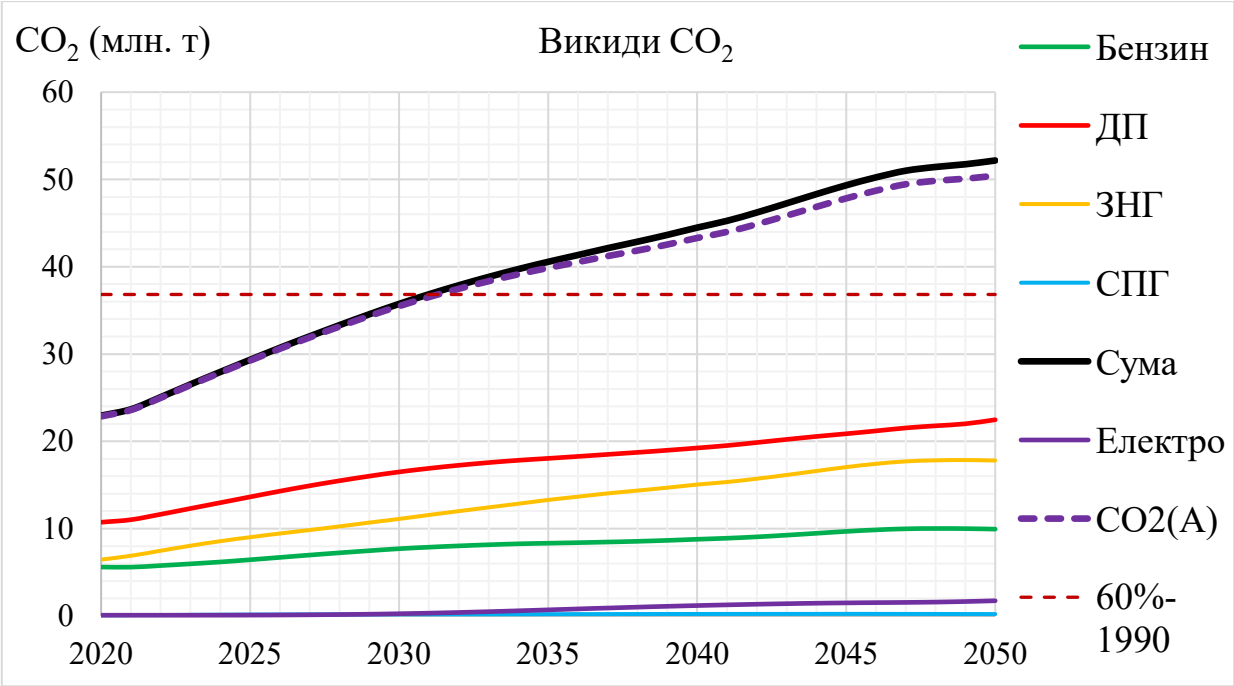


Рисунок 3.20 – Викиди CO_2 дорожнім транспортом в Україні з розподілом за видами палива (енергії) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

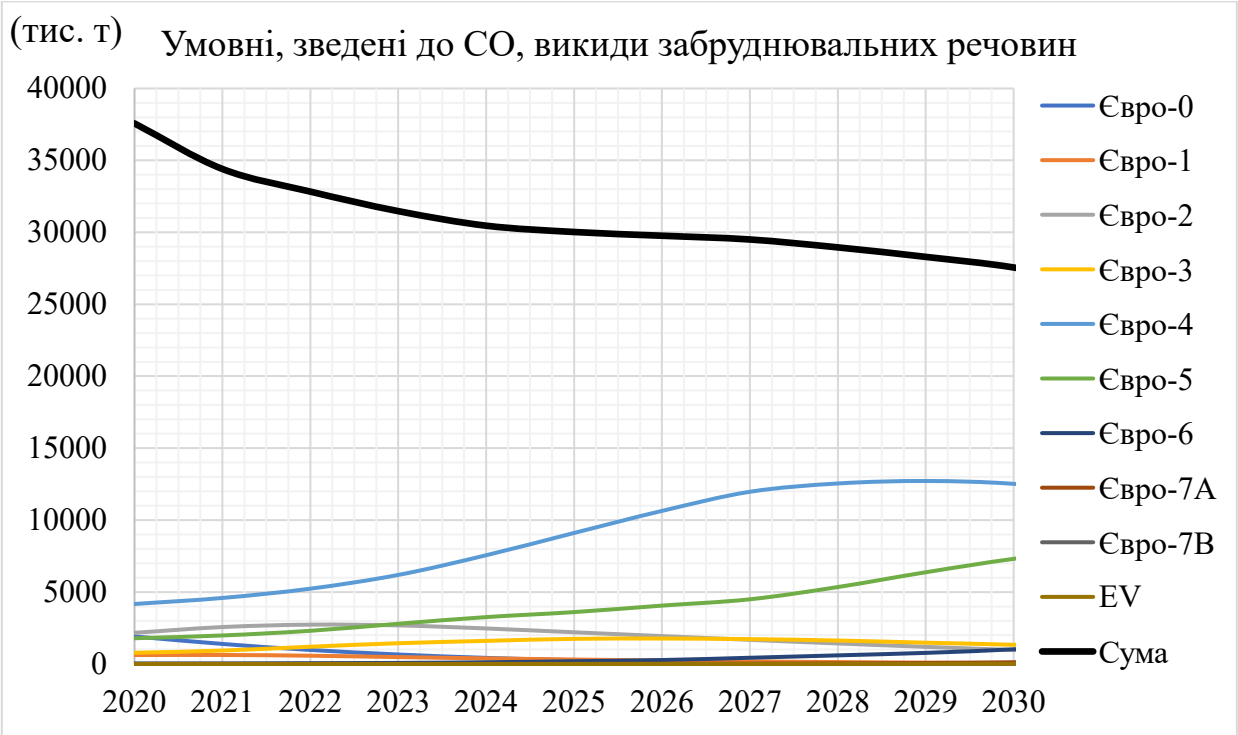


Рисунок 3.21 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

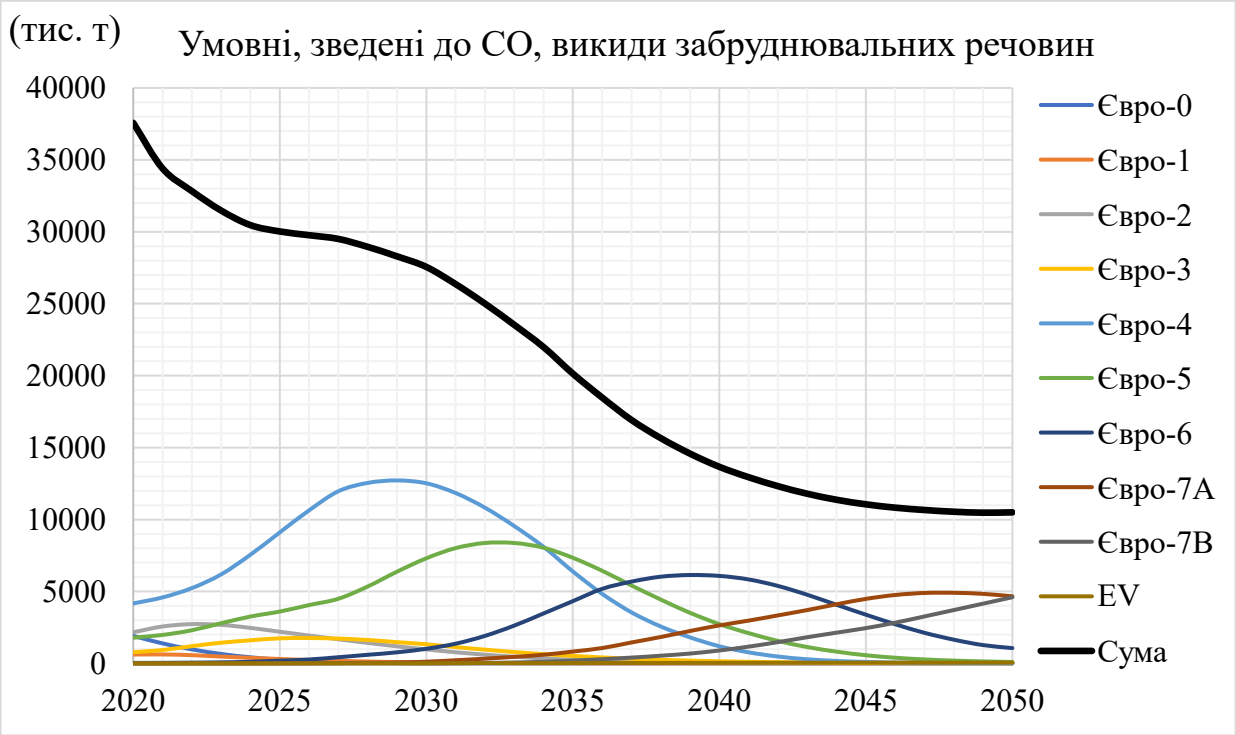


Рисунок 3.22 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

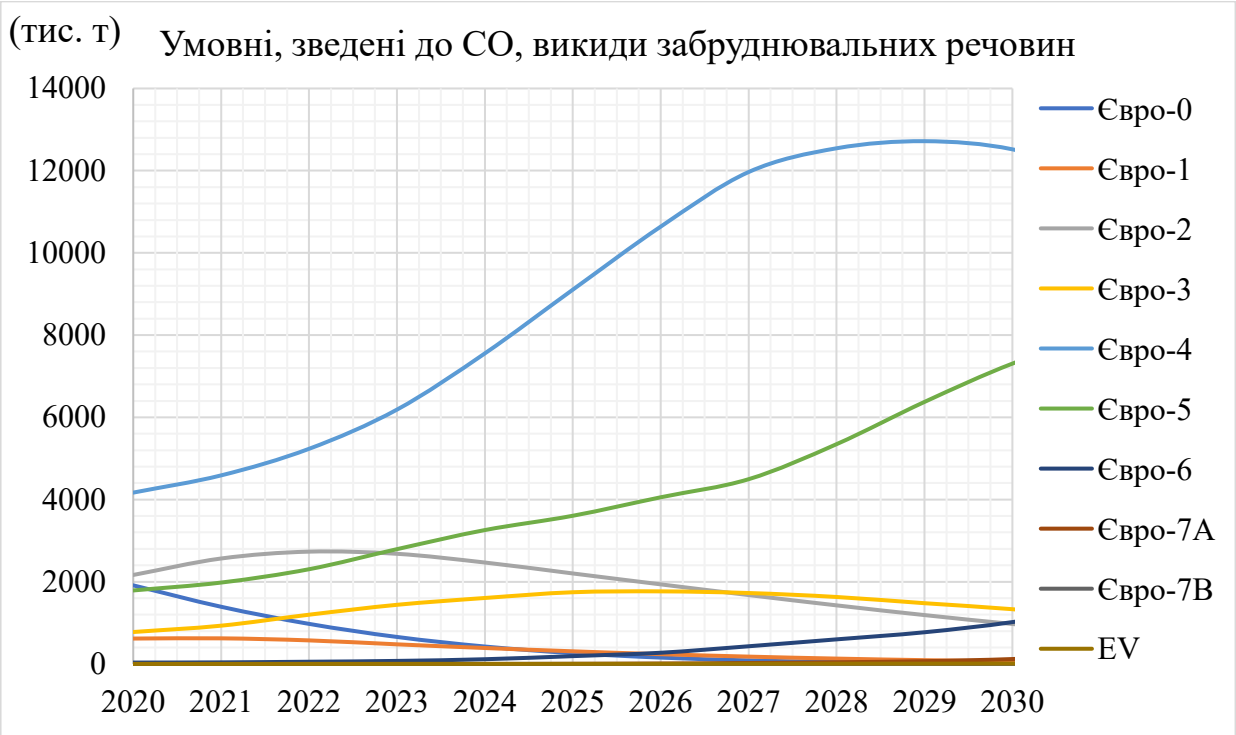


Рисунок 3.23 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від ДТЗ різних екологічних класів (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

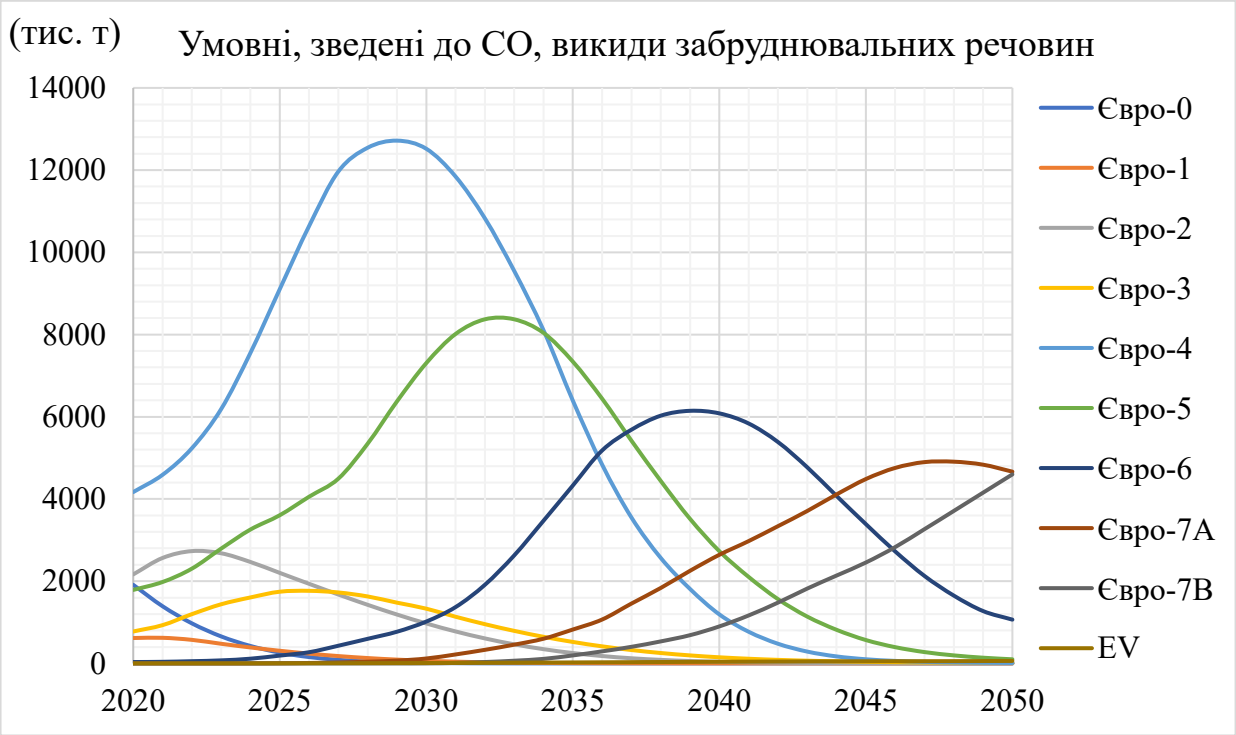


Рисунок 3.24 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від ДТЗ різних екологічних класів (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

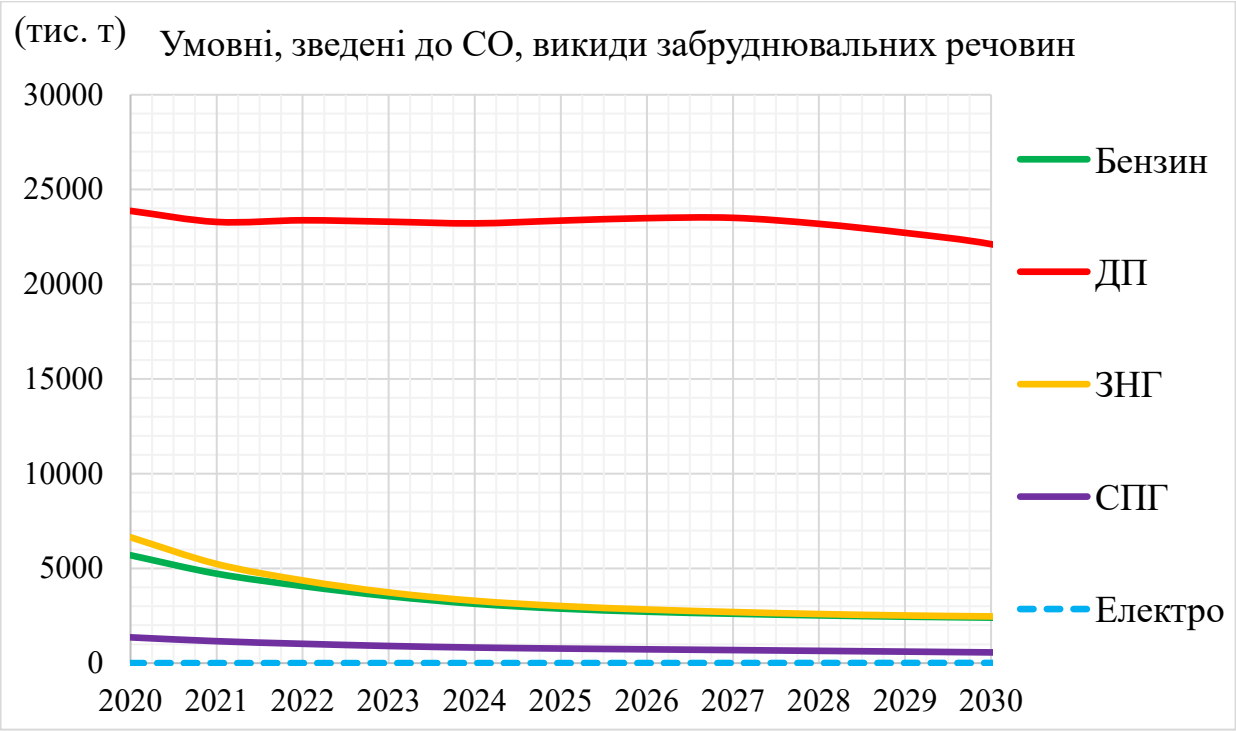


Рисунок 3.25 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від використання різних видів енергії (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

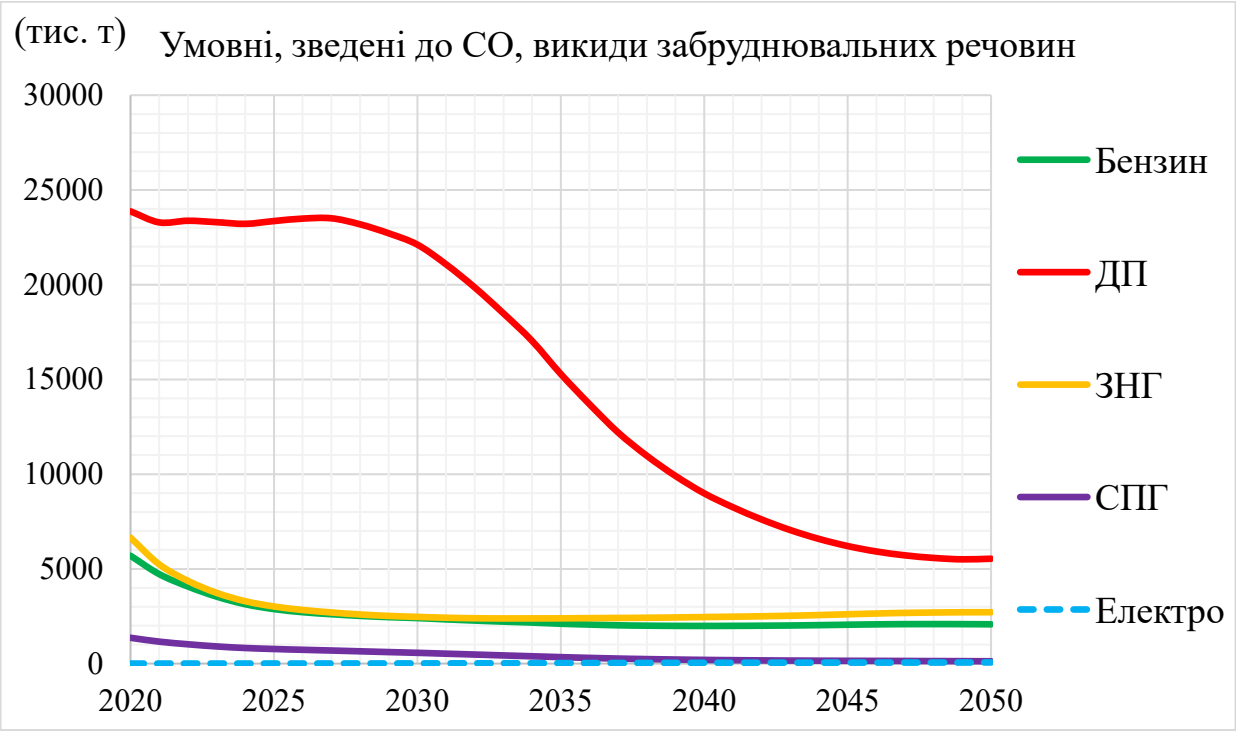


Рисунок 3.26 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від використання різних видів енергії (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

На рис. 3.27 і рис. 3.28 показано прогноз зміни розподілу зведених до СО викидів забруднювальних речовин від використання різних видів енергії, а також від електромобілів «EV» (продукти зношування) на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

На рис. 3.29 і рис. 3.30 показано прогноз зміни зведених до СО викидів забруднювальних речовин від ДТЗ різних видів на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

Як «PC» позначено легкові автомобілі за міжнародно прийнятою абревіатурою.

На рис. 3.31 і рис. 3.32 показано прогноз зміни розподілу (%) зведених до СО викидів забруднювальних речовин від ДТЗ різних видів на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

На рис. 3.33 показано прогноз зміни відношення (%) між ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння (ICE) та електромобілями (EV).

На рис. 3.34 показано прогноз зміни середнього віку ДТЗ в Україні.

За сценарієм 1(1) прийнято середнє значення природньої щорічної зміни середнього питомого споживання моторних палив в експлуатаційних умовах для ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в Україні, на -0,5% за відсутності регулювання, з контрольними значеннями, наведеними у таблиці 3.1 для 2030 р. та 2050 р. з врахуванням помірних оцінок наявного потенціалу, що розглянуто у розділі 1, що не пов’язані (реалізація яких) не потребують значного збільшення вартості ДТЗ.

Таблиця. 3.1

Відносна зміна питомого споживання моторних палив за сценарієм 1(1)

	2030 р.	2050 р.
Легкові автомобілі з ДВЗ з примусовим запалюванням	-8,6	-20,7
Легкові автомобілі з дизелями	-13,1	-21,4
Легкий комерційний транспорт	-12,2	-20,5
Важкий комерційний транспорт	-7,9	-16,7

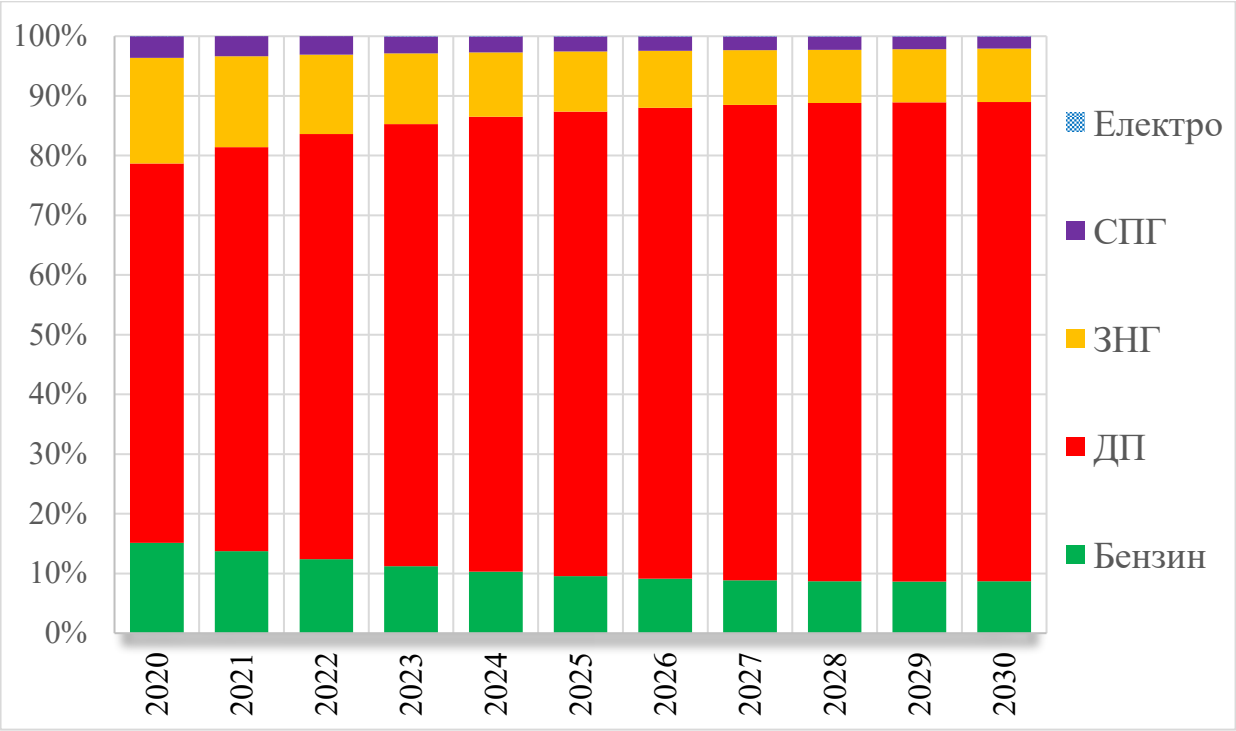


Рисунок 3.27 – Розподіл зведених до СО викидів забруднювальних речовин від використання різних видів палив (енергії) в період 2020-2030 рр.

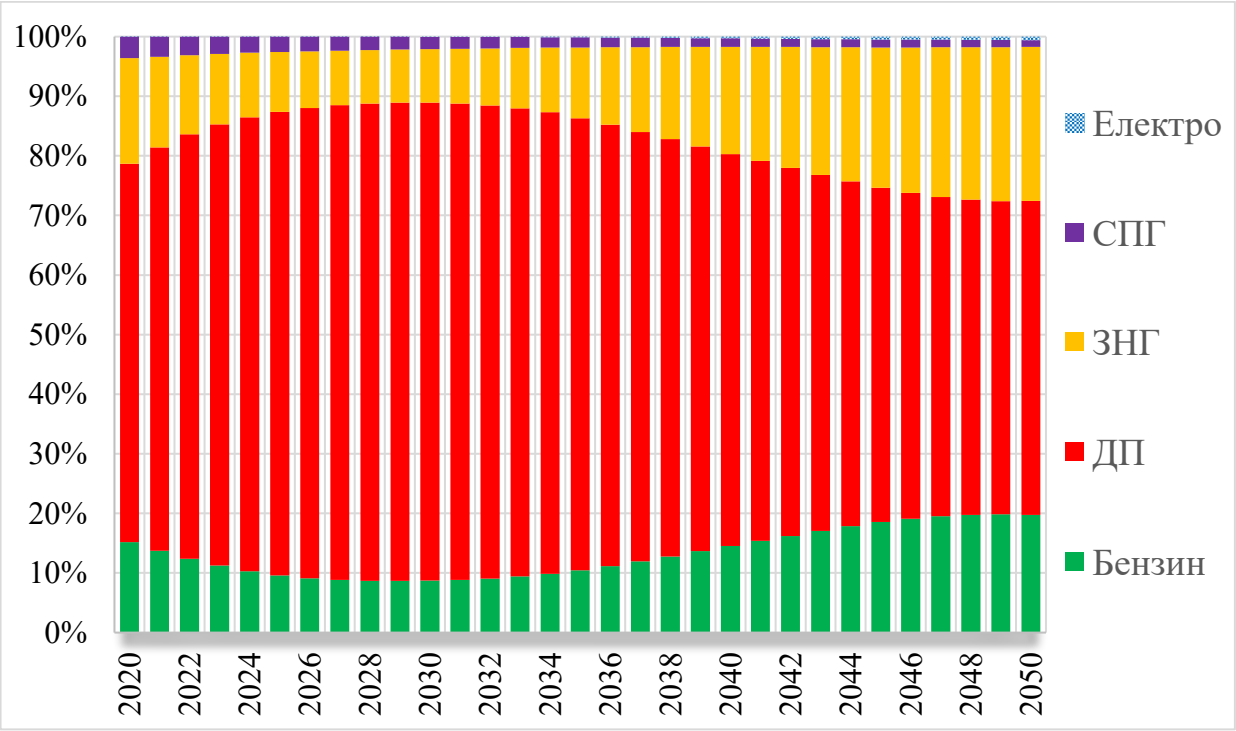


Рисунок 3.28 – Розподіл зведених до СО викидів забруднювальних речовин від використання різних видів палив (енергії) в період 2020-2050 рр.

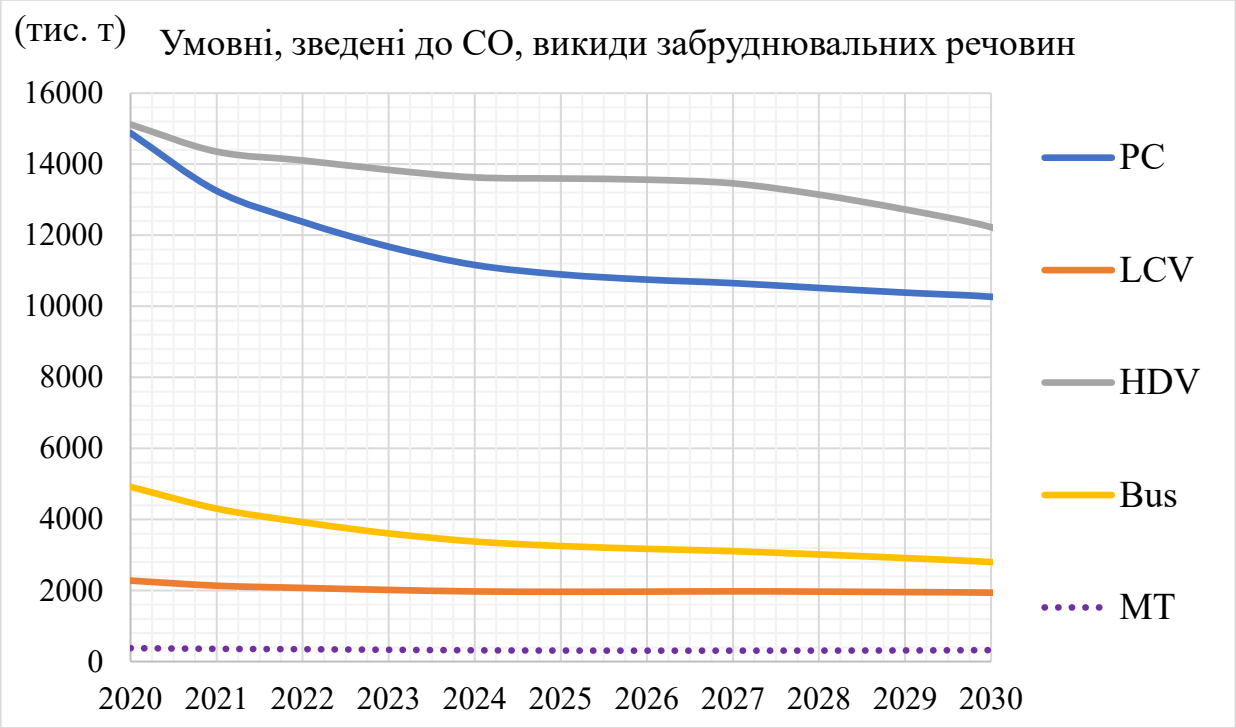


Рисунок 3.29 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від ДТЗ різних видів (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

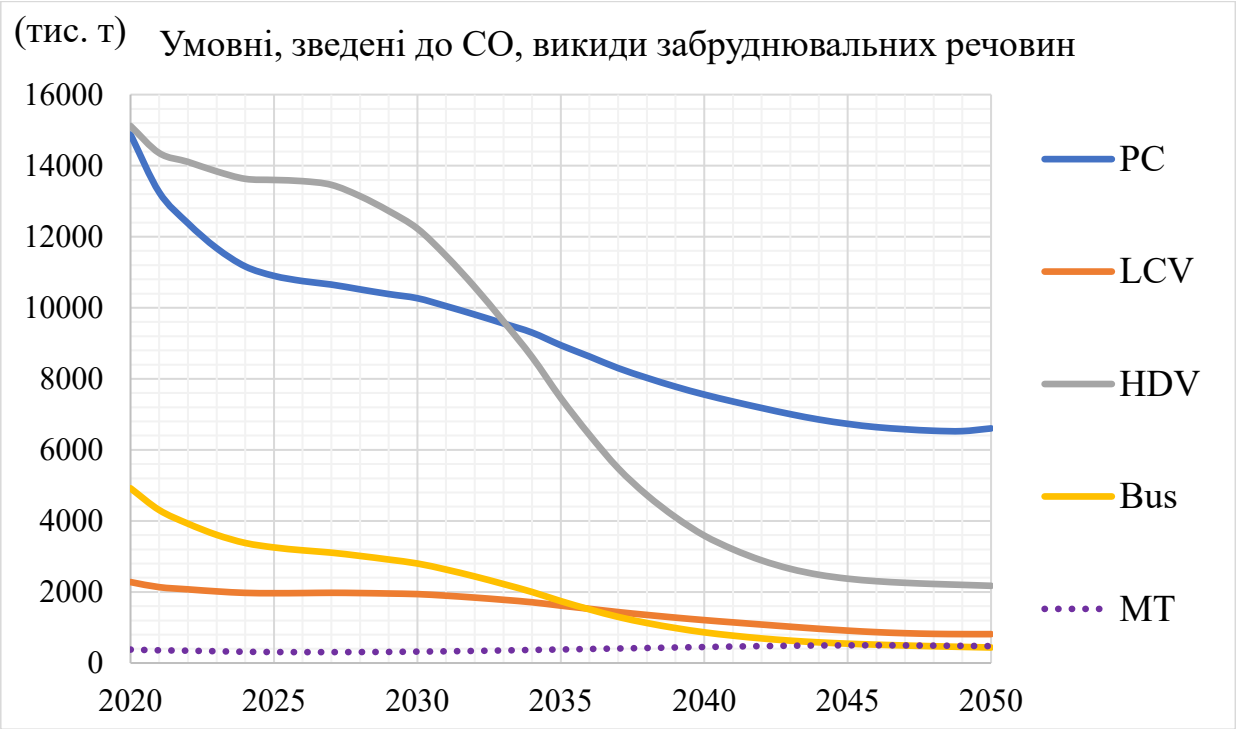


Рисунок 3.30 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від ДТЗ різних видів (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

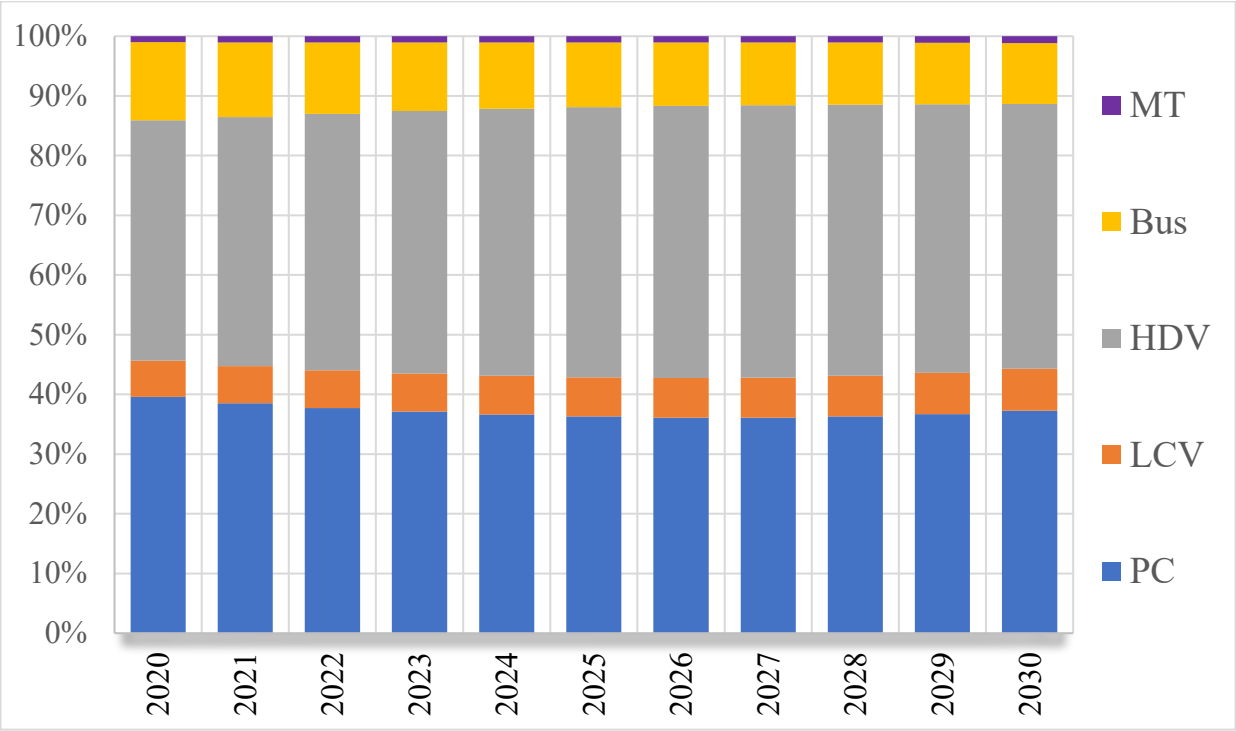


Рисунок 3.31 – Розподіл зведених до СО викидів забруднювальних речовин за видами ДТЗ (базовий сценарій № 1(1) до 2030 р.)

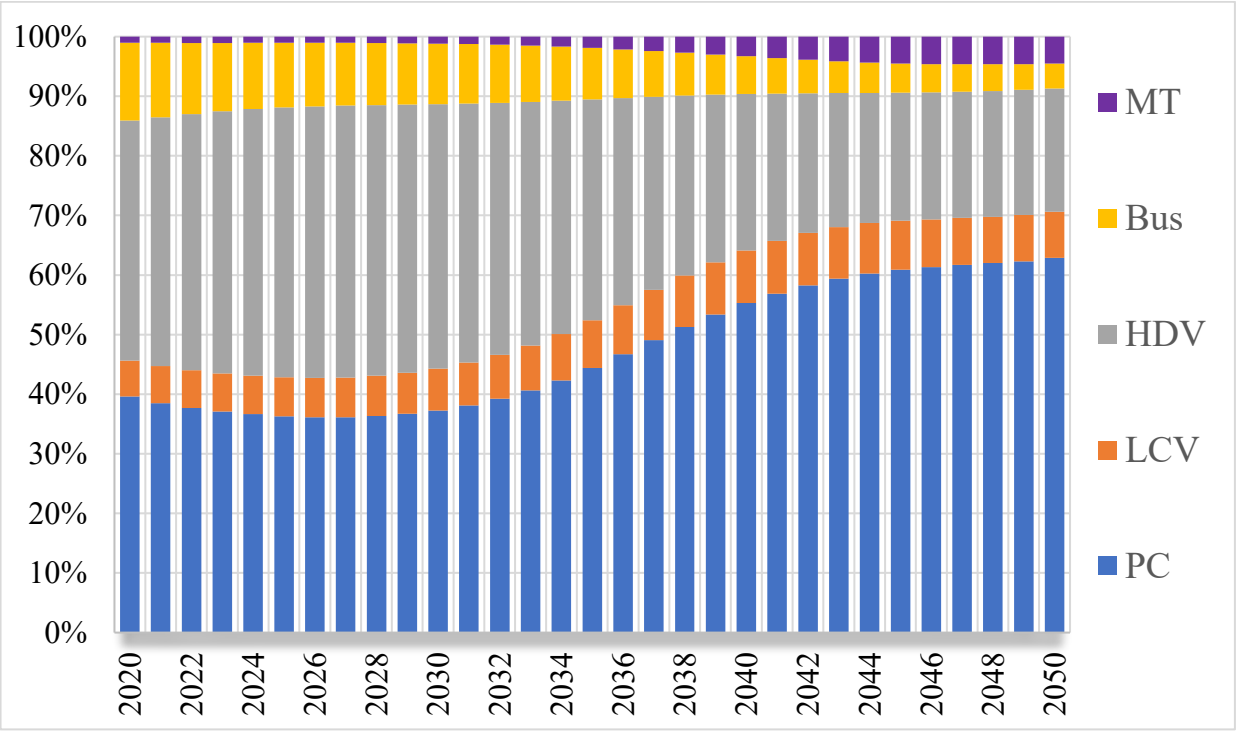


Рисунок 3.32 – Розподіл зведених до СО викидів забруднювальних речовин за видами ДТЗ (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

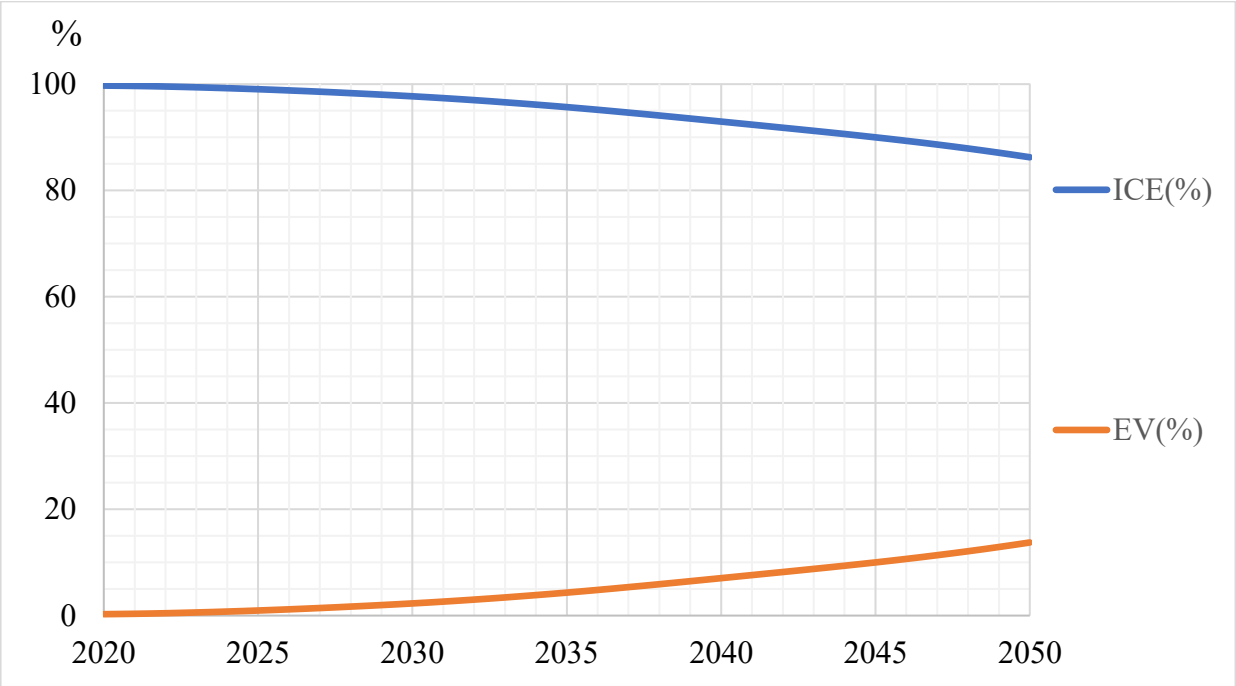


Рисунок 3.33 – Зміна відношення (%) між ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння (ICE) та електромобілями (EV) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

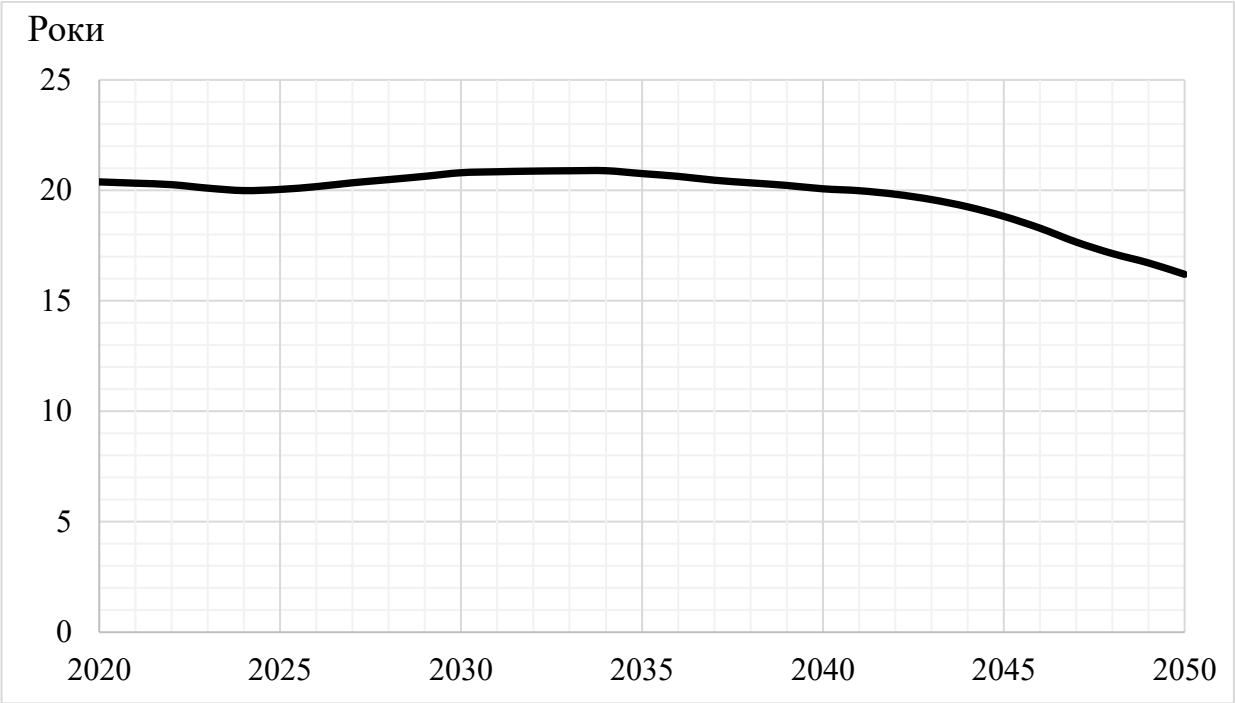


Рисунок 3.34 – Зміна середнього віку ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Поступове оновлення парку ДТЗ з дещо кращими показниками паливної економічності, унормованими за стандартами, має поступово зменшувати середнє питоме споживання енергії та питомих викидів CO_2 в цілому парком ДТЗ та за окремими видами ДТЗ, що перебувають в експлуатації, як це показано на рис. 3.35 – 3.45.

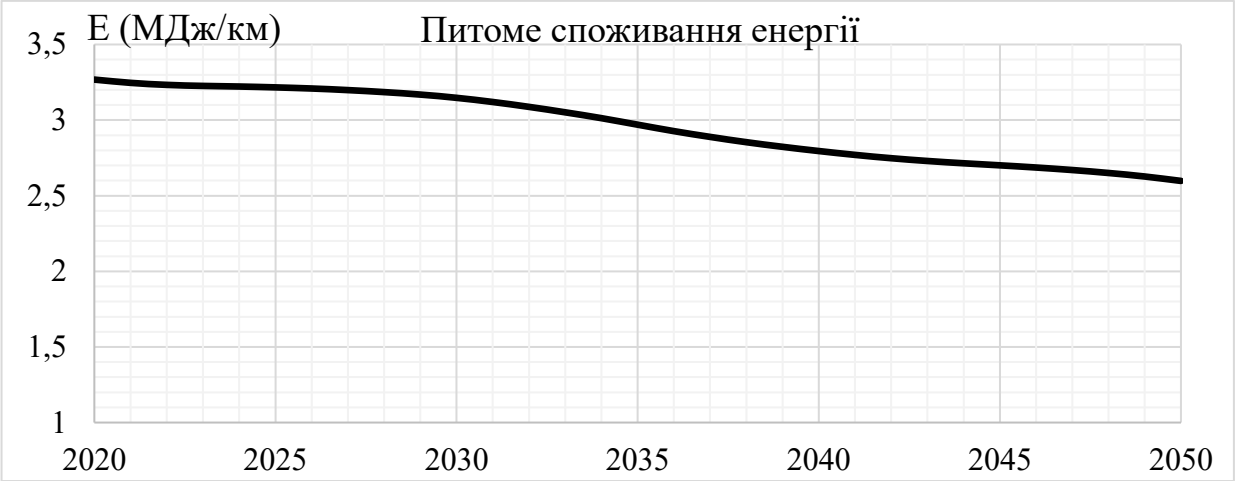


Рисунок 3.35 – Зміна питомого споживання енергії парком ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

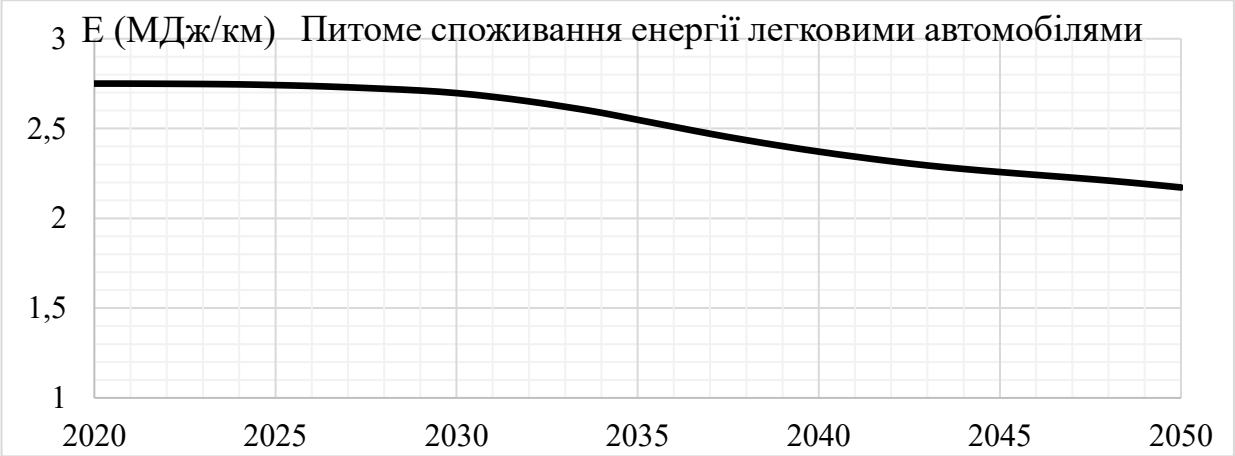


Рисунок 3.36 – Зміна питомого споживання енергії парком легкових автомобілів в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.37 – Зміна питомого споживання енергії парком легкого комерційного транспорту (LCV) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.38 – Зміна питомого споживання енергії парком важкого комерційного транспорту (HDV) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.39 – Зміна питомого споживання енергії парком автобусів в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.40 – Зміна питомого споживання енергії парком мототехніки в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

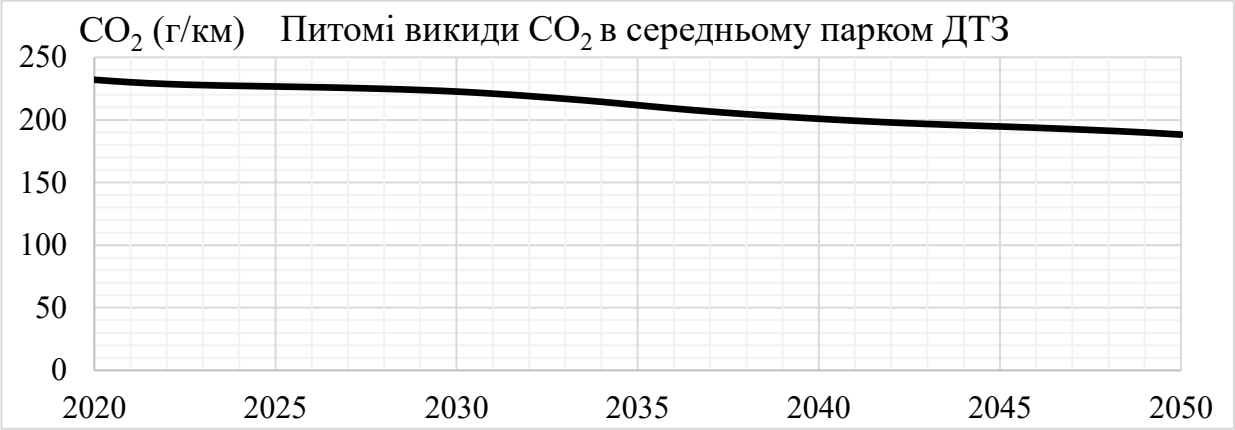


Рисунок 3.41 – Питомі викиди CO_2 в середньому парком ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

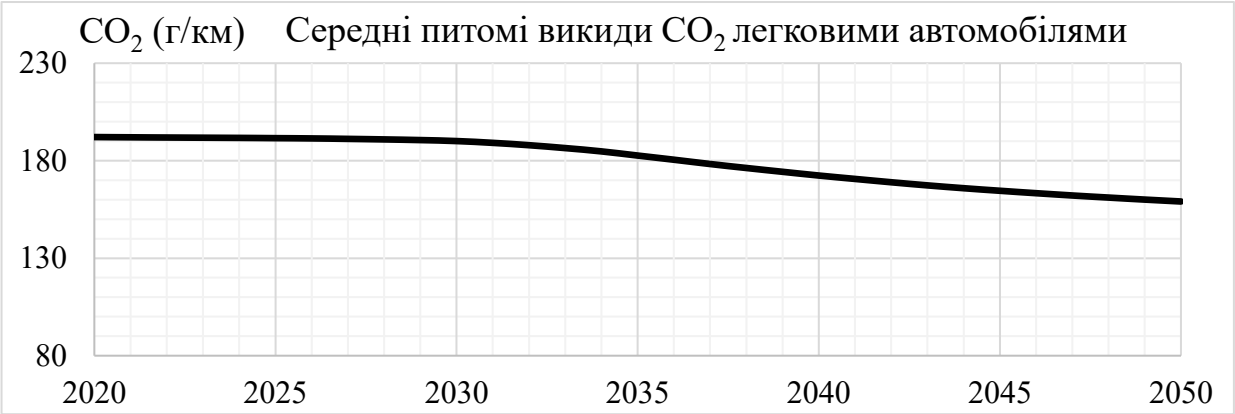


Рисунок 3.42 – Питомі викиди CO_2 в середньому парком легкових автомобілів в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

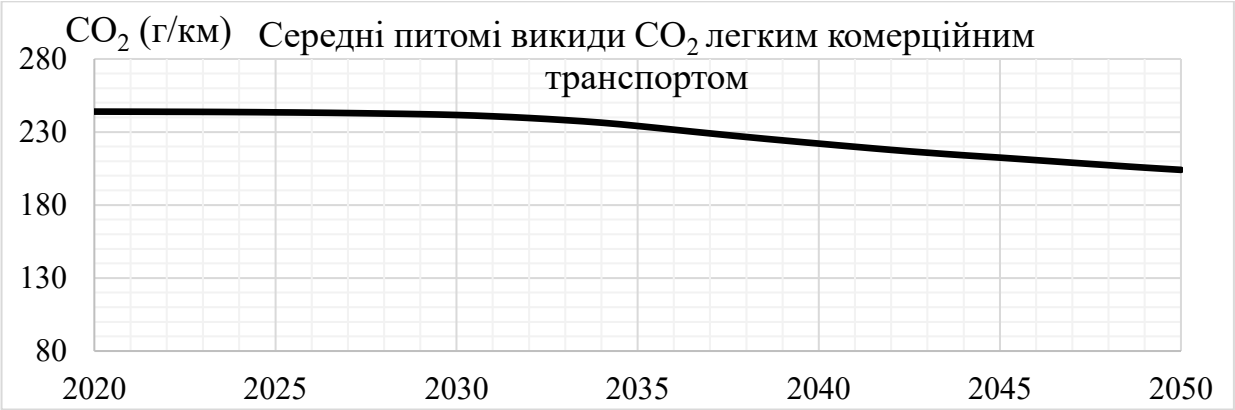


Рисунок 3.43 – Питомі викиди CO_2 в середньому парком легкого комерційного транспорту (LCV) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

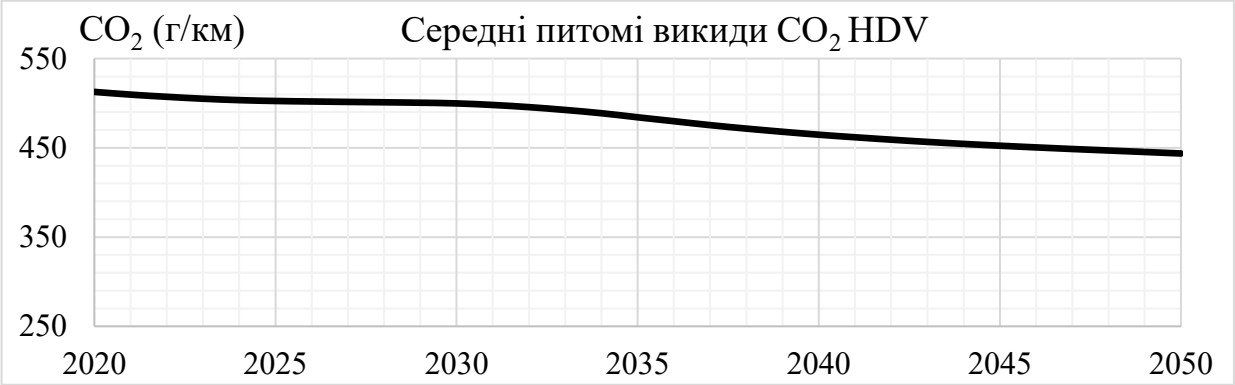


Рисунок 3.44 – Питомі викиди CO_2 в середньому парком важкого комерційного транспорту (HDV) (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

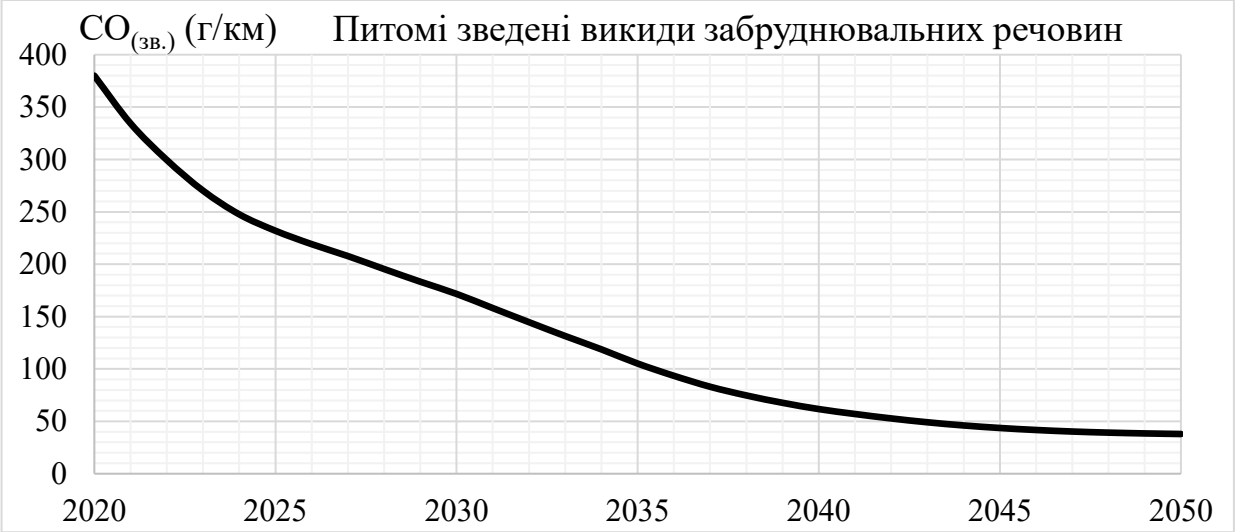


Рисунок 3.45 – Питомі, зведені до СО викиди забруднювальних речовин в середньому для парку ДТЗ в Україні (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

3.3. Оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) за умов поточного варіанту управління

На рис. 3.56 і рис. 3.47 показано прогнози зміни загальної кількості активних ДТЗ та структури парку ДТЗ в Україні за рівнем екологічних стандартів «Євро», що відповідають цьому сценарію.

На рис. 3.48 і рис. 3.49 показано прогноз зміни загального щорічного пробігу парком ДТЗ в Україні на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

На рис. 3.50 показано прогноз зміни викидів CO_2 дорожнім транспортом в Україні на період до 2050 р.

На рис. 3.51 показано прогноз зміни зведених до СО викидів забруднювальних речовин дорожнім транспортом в Україні на період до 2050 р.

На рис. 3.52 показано прогноз зміни зведених до СО викидів забруднювальних речовин дорожнім транспортом від використання різних видів енергії на період до 2050 р.

3.4. Сценарій економічної стагнації в умовах поточного варіанту управління (сценарій №3(1))

За цим сценарієм на рис. 3.53 – 3.55 показано прогнози на період до 2030 р. зміни загального пробігу парком ДТЗ (рис. 3.53), викидів CO_2 від рівня 1990 р. (рис. 3.54), умовних, зведені до СО, викидів забруднювальних речовин (рис. 3.55).

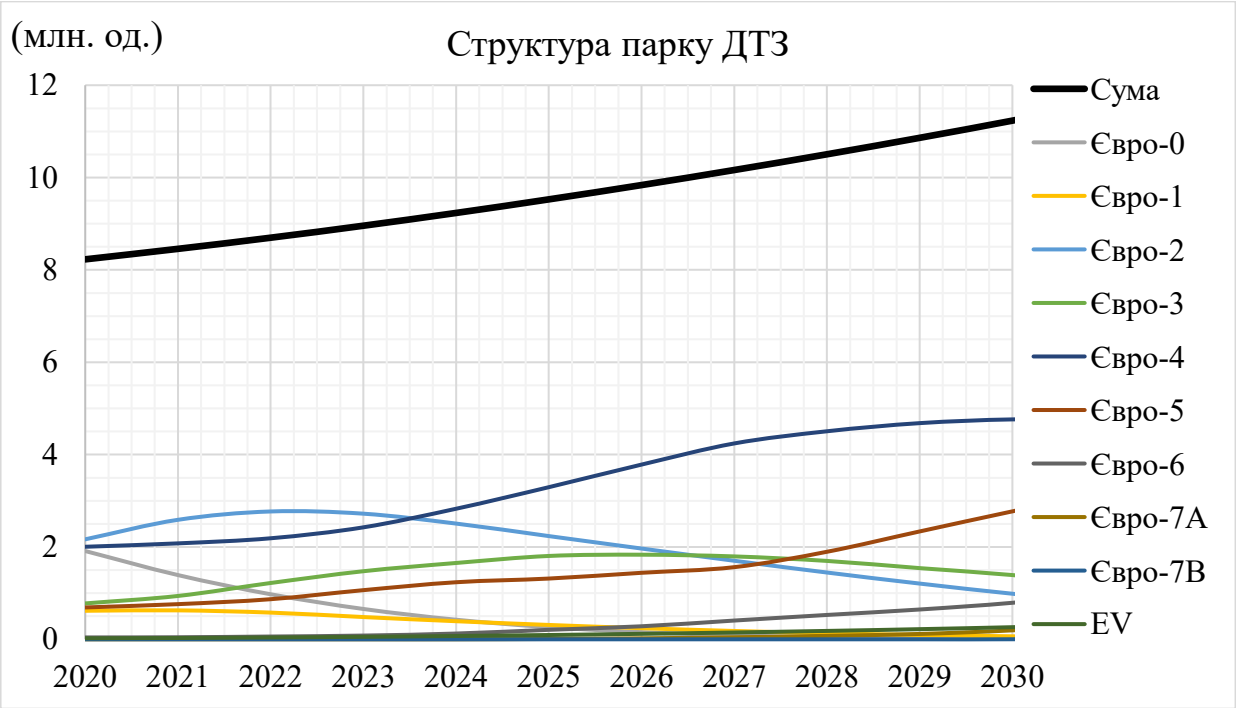


Рисунок 3.46 – Структура парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) до 2030 р.)

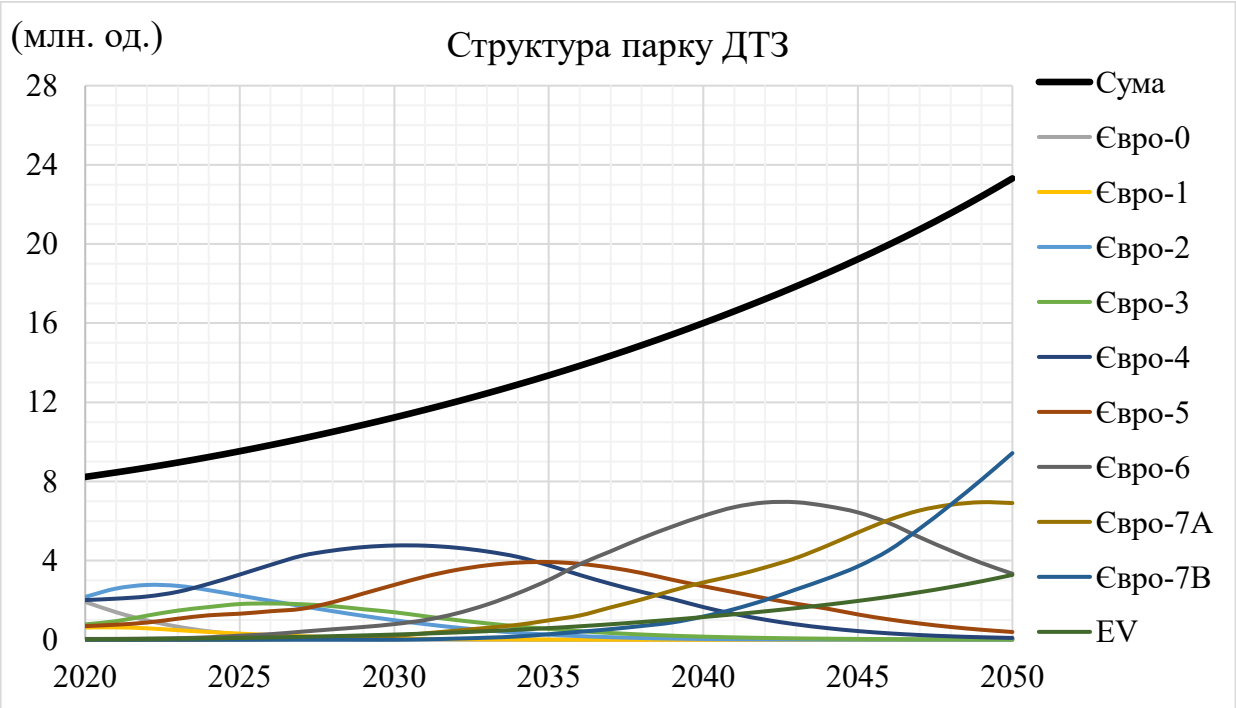


Рисунок 3.47 – Структура парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) до 2050 р.)

Рисунок 3.48 – Загальний щорічний пробіг парком ДТЗ в Україні (оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) до 2030 р.)

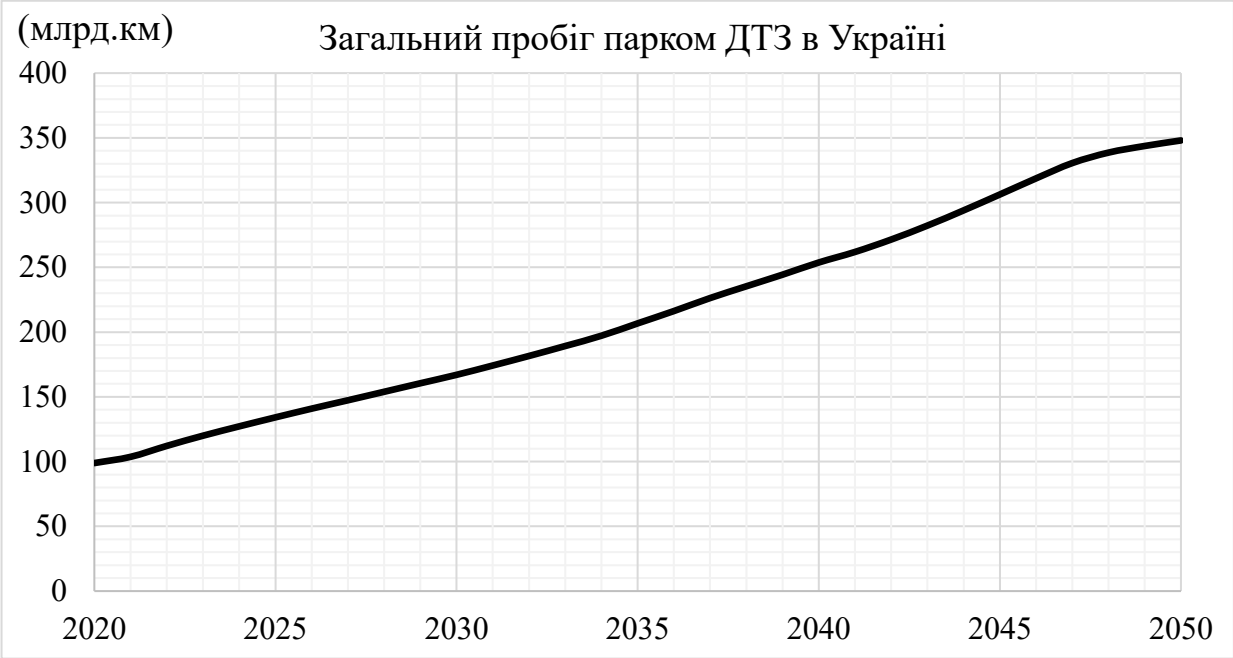


Рисунок 3.49 – Загальний щорічний пробіг парком ДТЗ в Україні (оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) до 2050 р.)

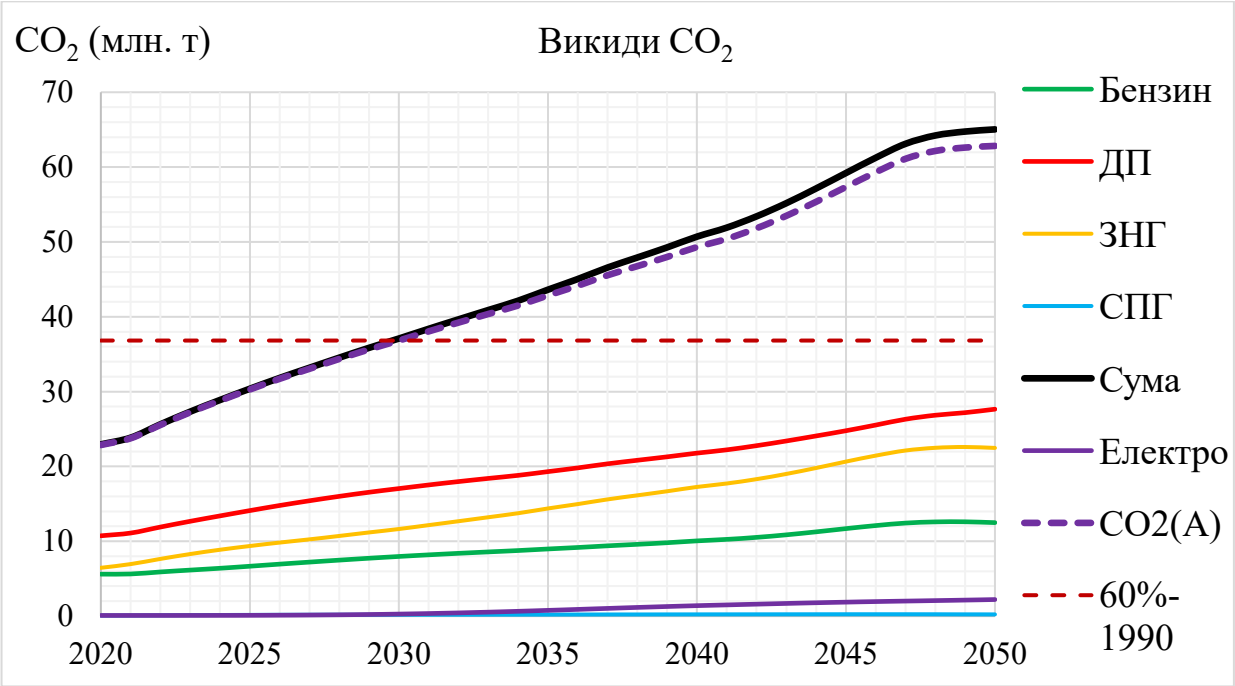


Рисунок 3.50 – Викиди CO_2 дорожнім транспортом з розподілом за видами енергії (оптимістичний макроекономічний сценарій № 2(1) до 2050 р.)

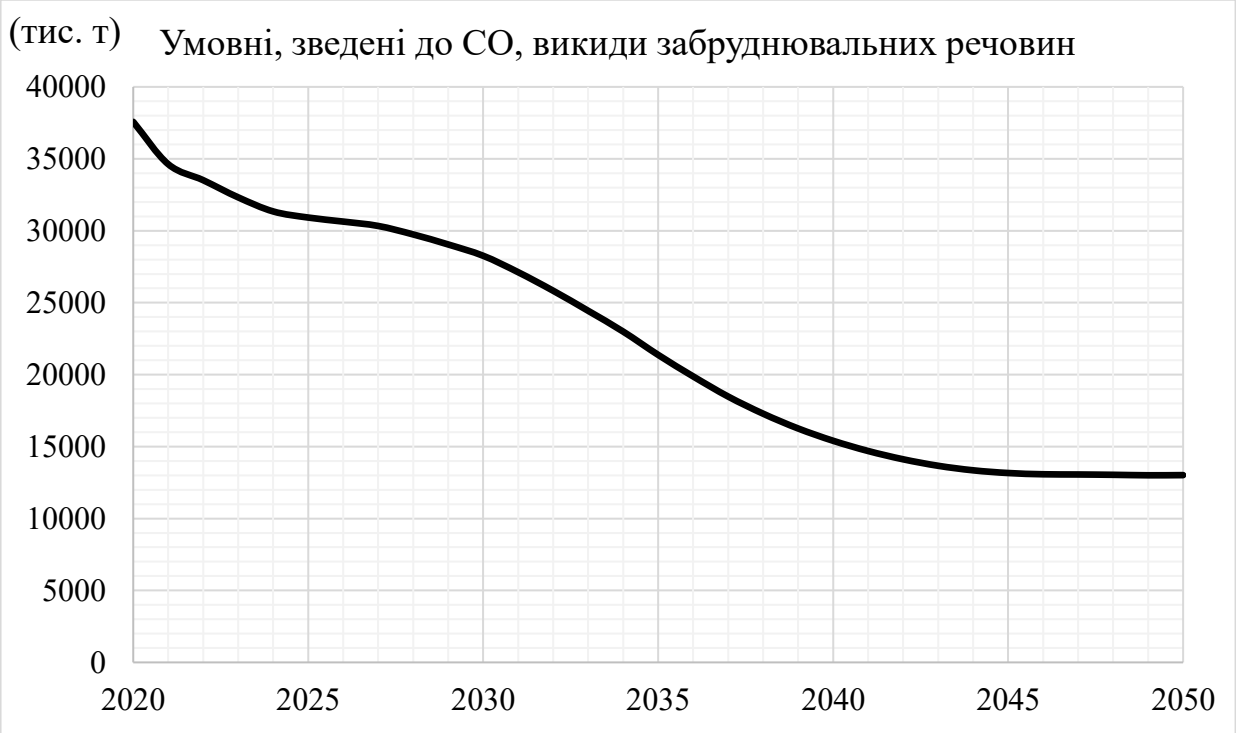


Рисунок 3.51 – Питомі, зведені до СО викиди забруднювальних речовин в середньому для парку ДТЗ в Україні (сценарій № 2(1) до 2050 р.)

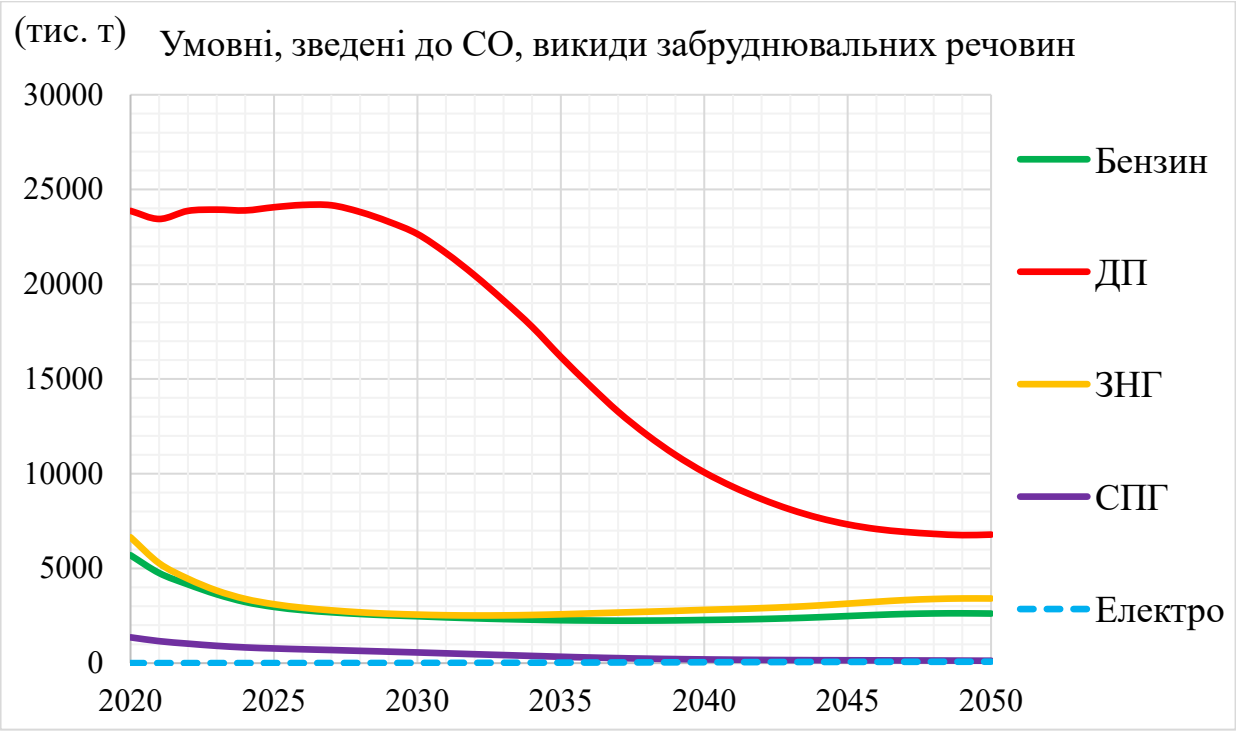


Рисунок 3.52 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин від використання різних видів енергії (сценарій № 2(1) до 2050 р.)

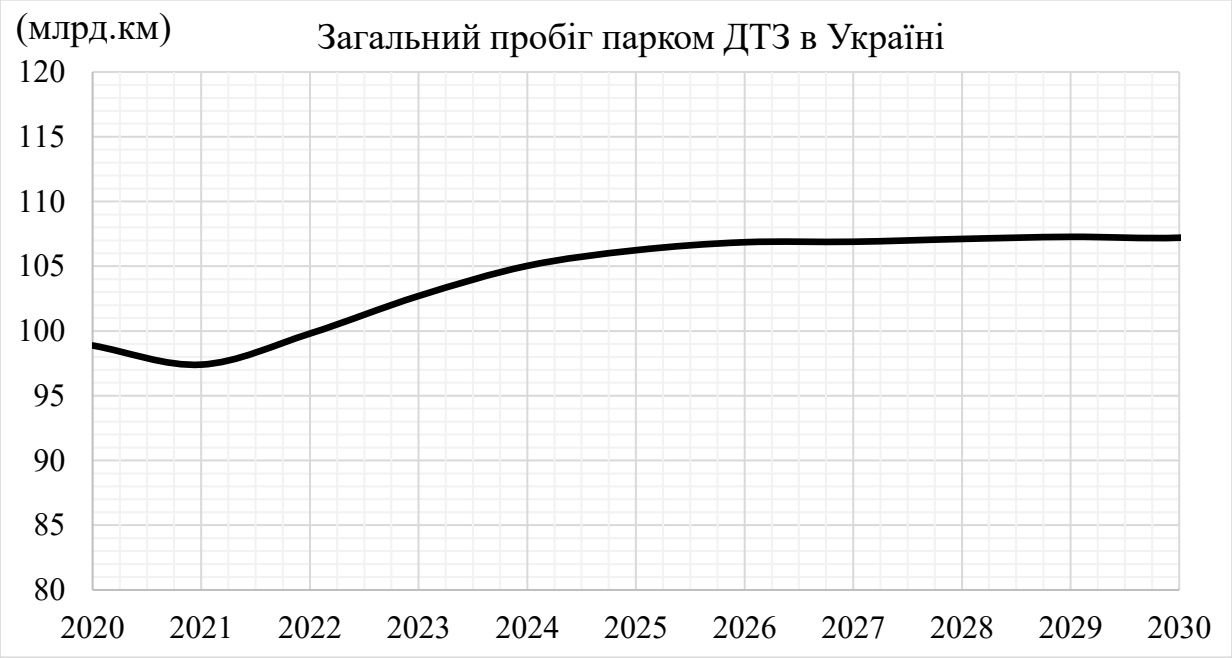


Рисунок 3.53 – Загальний пробіг парком ДТЗ в Україні (сценарій №3(1) економічної стагнації)

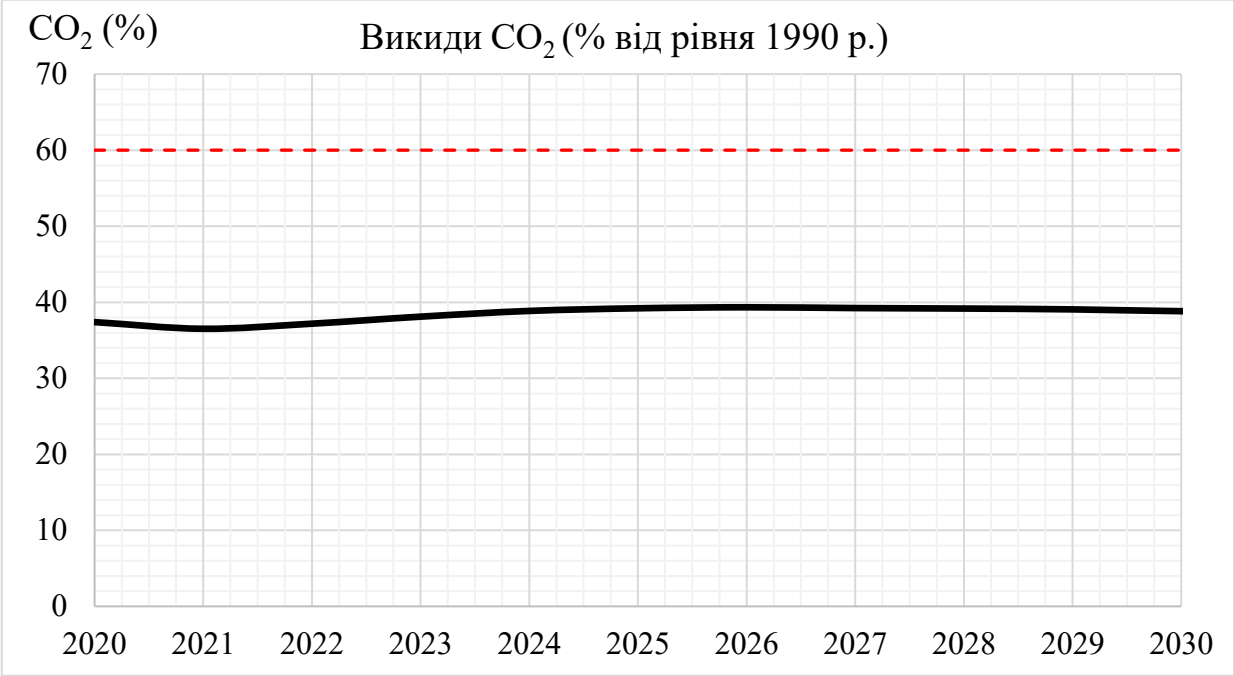


Рисунок 3.54 – Викиди CO_2 від рівня 1990 р.

(сценарій №3(1) економічної стагнації)

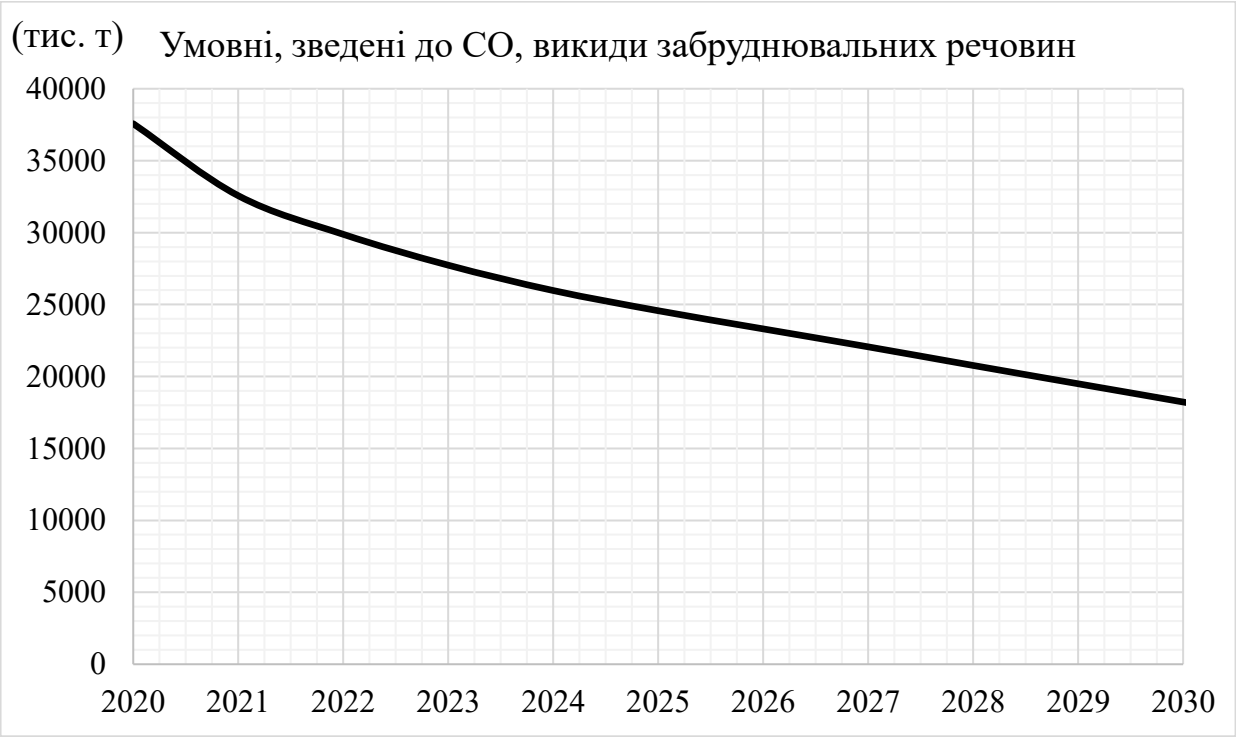


Рисунок 3.55 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин

(сценарій №3(1) економічної стагнації)

3.5. Сценарій жорсткого технічного і фіскального регулювання енергетичної ефективності ДТЗ, що потрапляють на ринок України, за базовим макроекономічним сценарієм (сценарій 1(2) до 2050 р.)

За цим сценарієм на рис. 3.56 показано прогноз зміни споживання енергії на період до 2050 р. в цілому дорожнім транспортом за окремими видами моторних палив (енергії), а також, на рис. 3.57 показано розподіл споживання за видами енергії.

Прогноз зміни викидів CO_2 показано на рис. 3.58.

За сценарієм 1(2) прийнято середнє значення щорічної зміни середнього питомого споживання моторних палив в експлуатаційних умовах для ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в Україні, на -2% з цільовими значеннями, наведеними у таблиці 3.Х для 2030 р. та 2050 р. з врахуванням оцінок наявного потенціалу, що розглянуто у розділі 1.

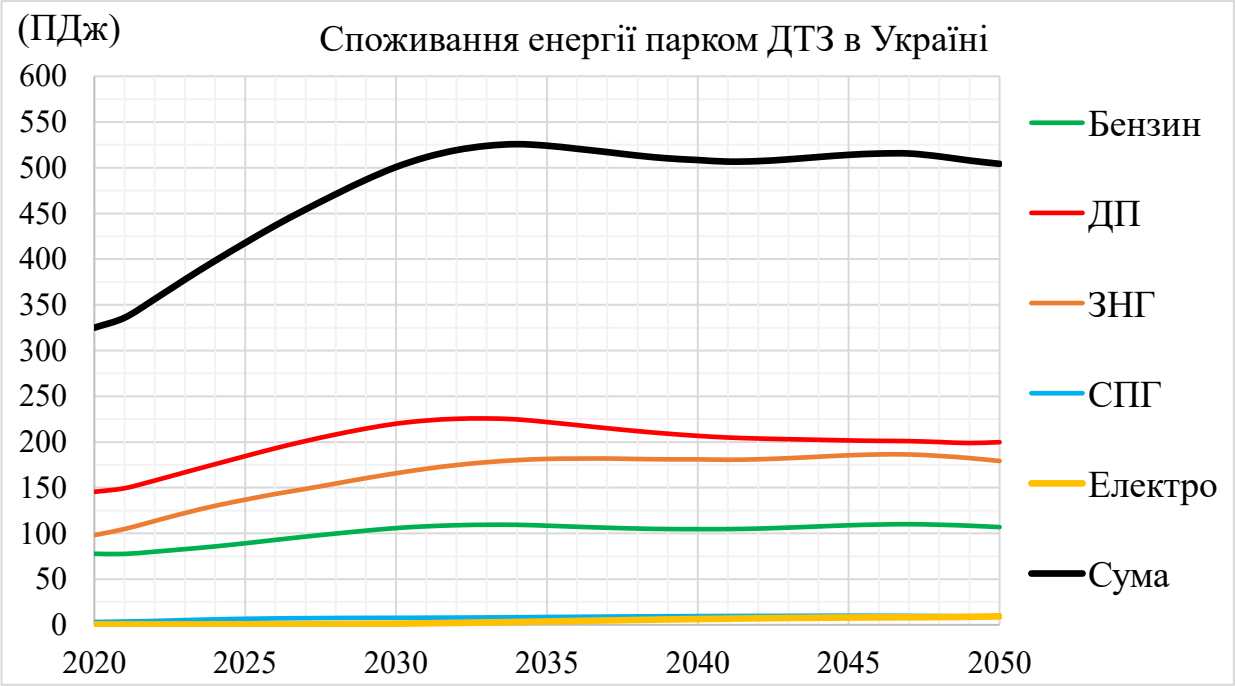


Рисунок 3.56 – Споживання енергії парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

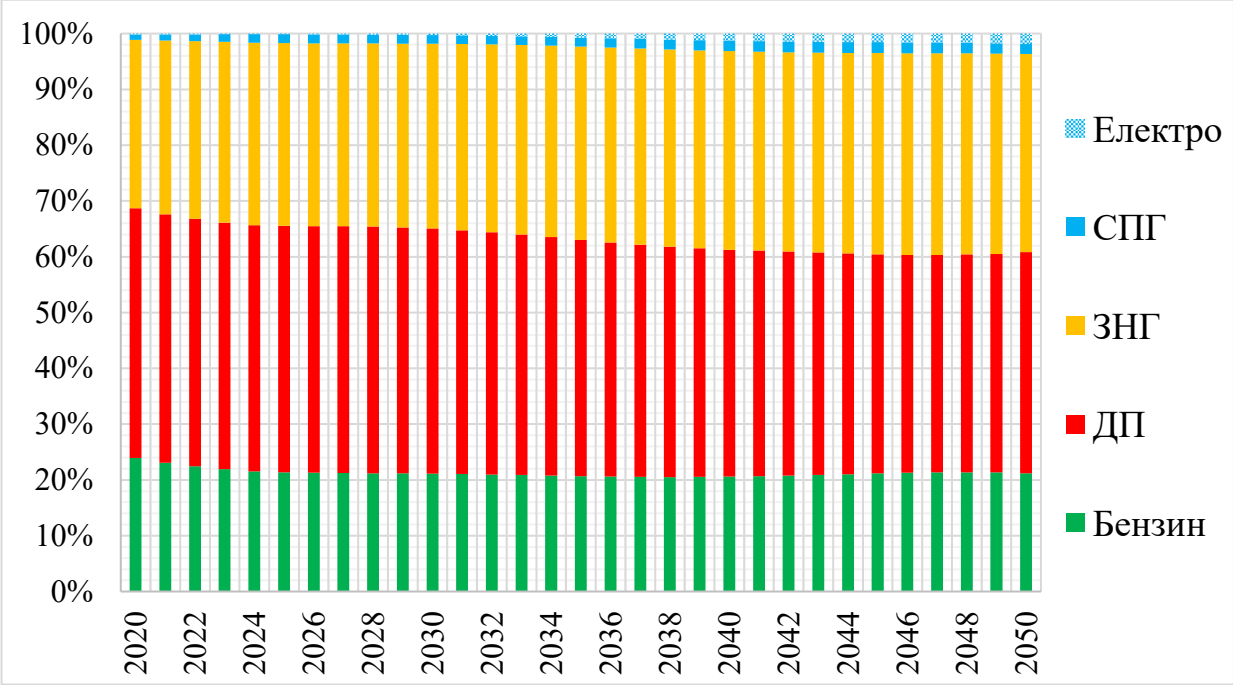


Рисунок 3.57 – Розподіл споживання видів енергії парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

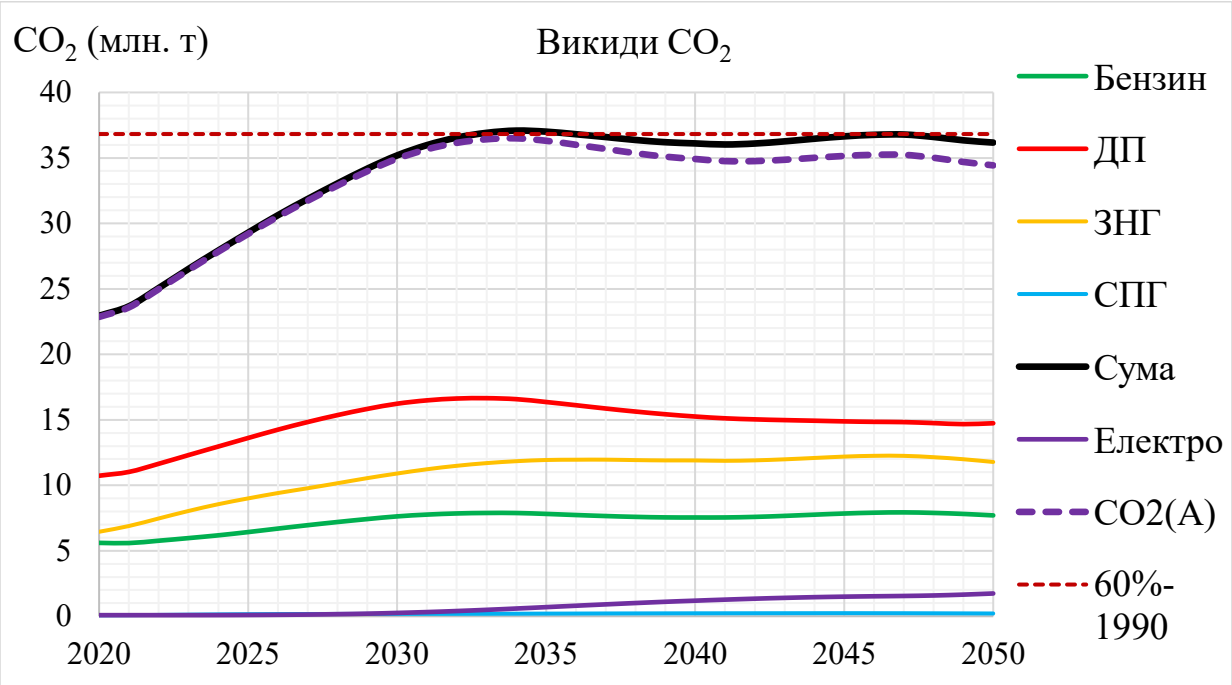


Рисунок 3.58. Викиди CO_2 (сценарій 1(2) до 2050 р.)

Таблиця. 3.2

Відносна зміна питомого споживання моторних палив за сценарієм 1(2)

	2030 р.	2050 р.
Легкові автомобілі з ДВЗ з примусовим запалюванням	-16,9	-41,5
Легкові автомобілі з дизелями	-34,4	-56,2
Легкий комерційний транспорт	-29,7	-53,1
Важкий комерційний транспорт	-24,4	-49,5

Оновлення парку ДТЗ на основу відбору з наявних на ринку варіантів переважно ДТЗ з найкращими показниками паливної економічності, унормованими за стандартами (в основному через заходи технічного регулювання та стимулюючі заходи фіскального регулювання), має поступово зменшувати середнє питоме споживання енергії та середні питомі викиди CO_2 в цілому парком ДТЗ, що перебувають в експлуатації, як це показано на рис. 3.59 – 3.68.

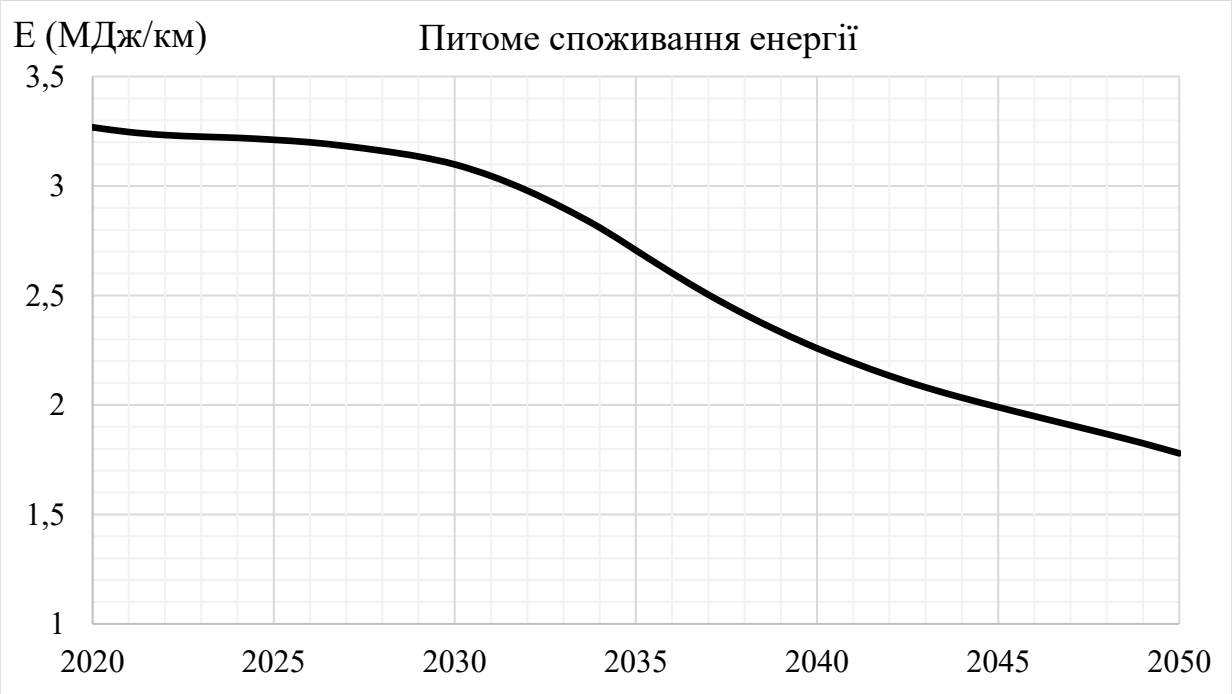


Рисунок 3.59 – Питоме споживання енергії в середньому парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

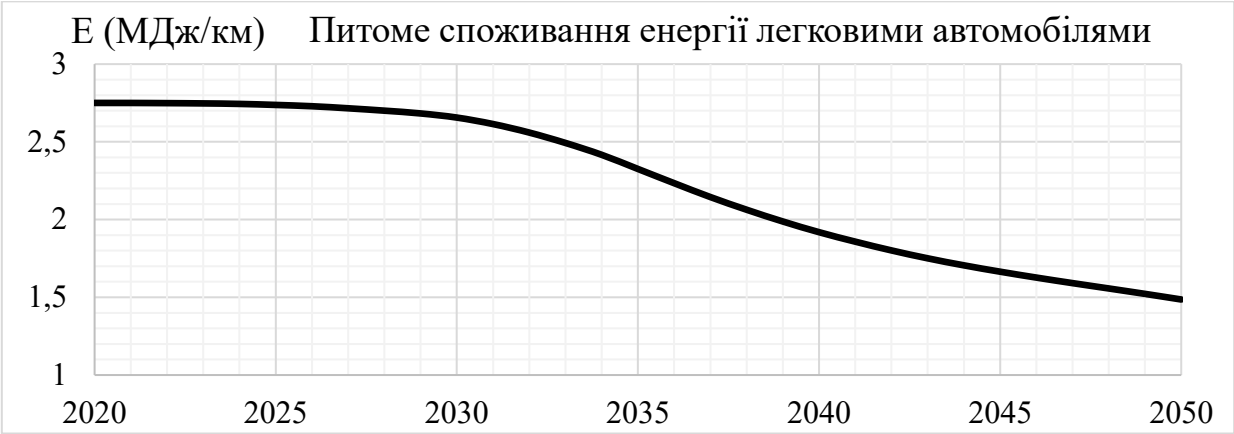


Рисунок 3.60 – Питоме споживання енергії в середньому парком легкових автомобілів в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

Рисунок 3.61 – Питоме споживання енергії в середньому парком легкого комерційного транспорту (LCV) в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

Рисунок 3.62 – Питоме споживання енергії в середньому парком важкого комерційного транспорту (HDV) в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

Рисунок 3.63 – Питоме споживання енергії в середньому парком автобусів в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

Рисунок 3.64 – Питоме споживання енергії в середньому парком мототехніки в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

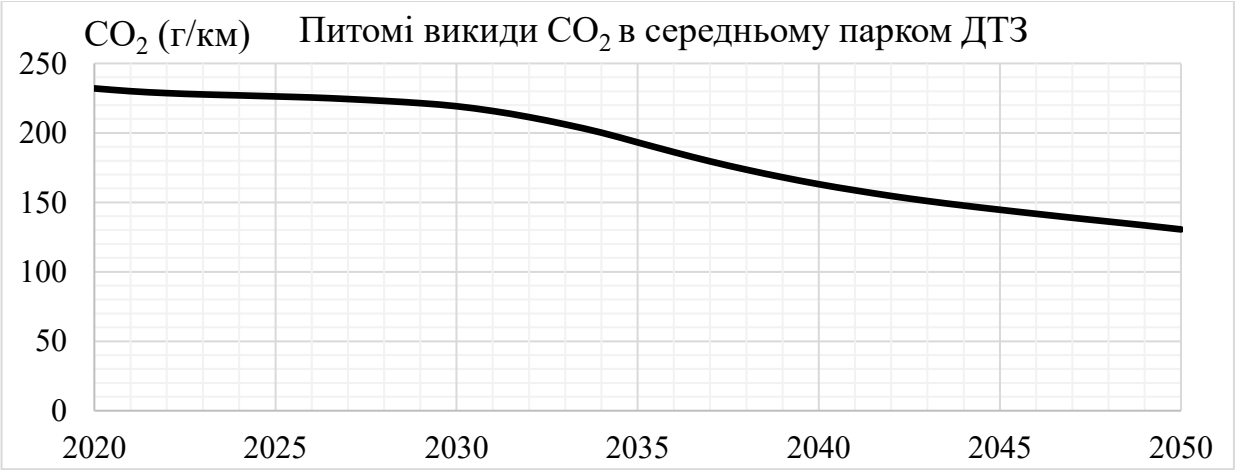


Рисунок 3.65 – Середні питомі викиди CO_2 парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

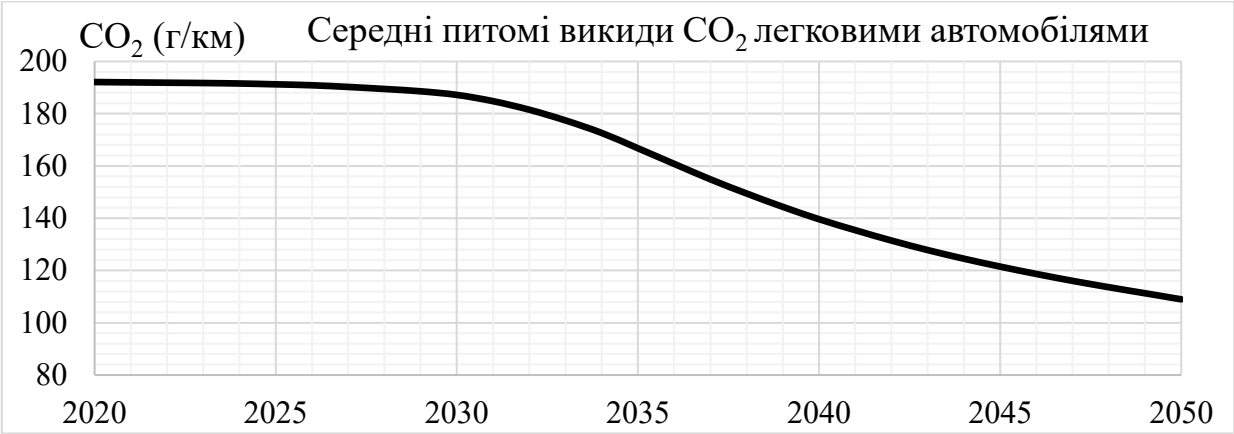


Рисунок 3.66 – Середні питомі викиди CO_2 парком легкових автомобілів в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

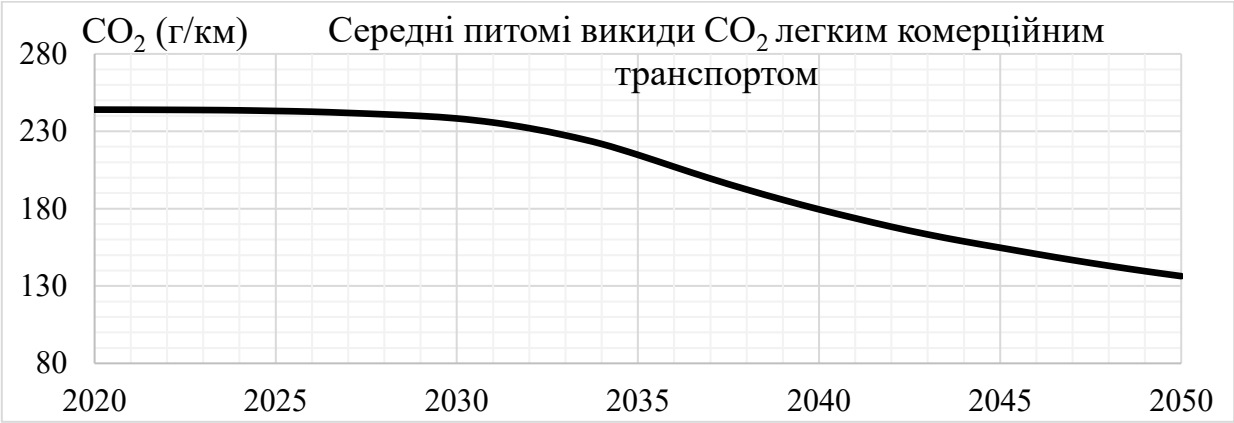


Рисунок 3.67 – Середні питомі викиди CO_2 парком легкого комерційного транспорту в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

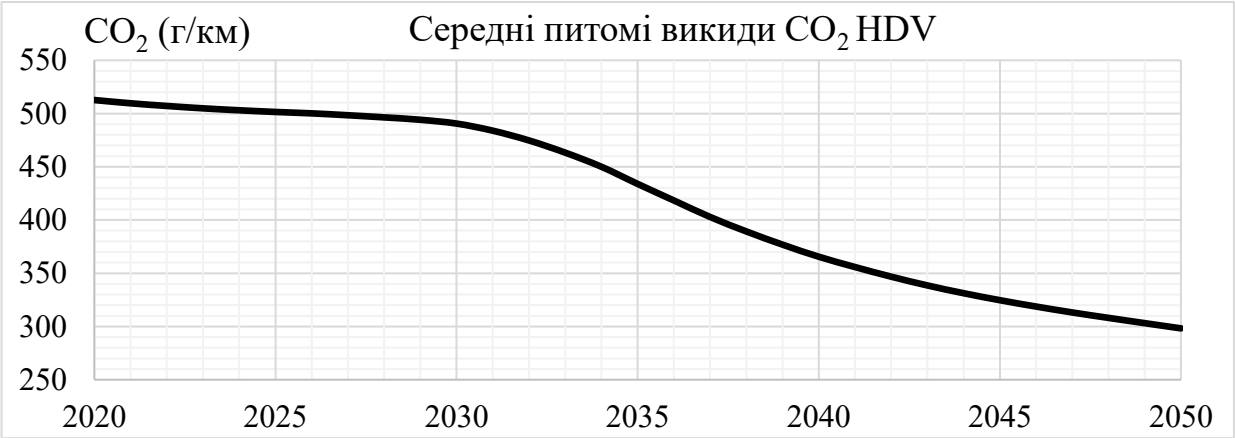


Рисунок 3.68 – Середні питомі викиди CO_2 парком важкого комерційного транспорту (HDV) в Україні (сценарій 1(2) до 2050 р.)

3.6. Сценарій інтенсивного розвитку електромобілів за базовим макроекономічним сценарієм (сценарій 1(3) до 2050 р.)

Граничний сценарій «вибухоподібного» характеру динаміки щорічного поповнення парку електромобілів в Україні показано на рис. 3.69 – 3.71.

Зміну кількості ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння (ICE) та електромобілів в структурі парку показано на рис. 3.72.

Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів на період до 2030 р. і до 2050 р., з наведенням частки електромобілів, показано, відповідно на рис. 3.73 і 3.74.

Зміну викидів CO_2 парком ДТЗ в Україні за цим сценарієм на період до 2050 р. показано на рис. 3.75.

Зміну умовних, зведених до CO, викидів забруднювальних речовин показано на рис. 3.76 і 3.77 на період до 2030 р. і до 2050 р. відповідно.

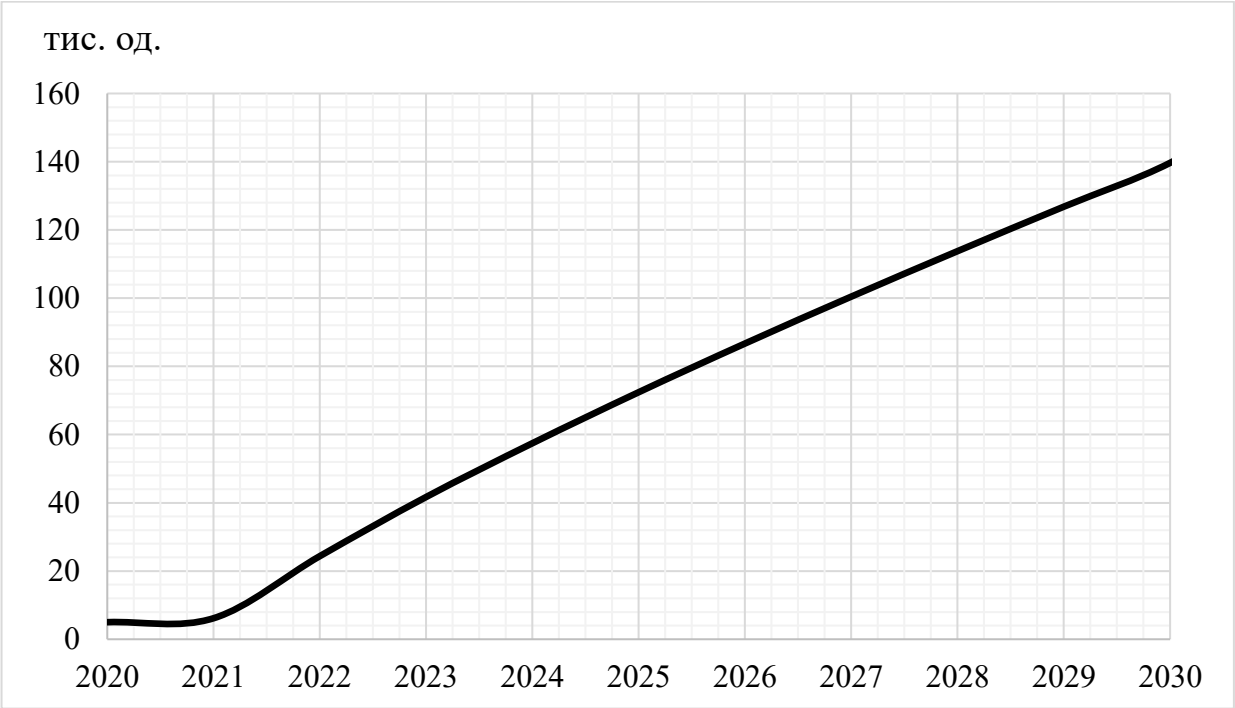


Рисунок 3.69 – Сценарій «вибухоподібного» характеру динаміки щорічного поповнення парку електромобілів в Україні (сценарій 1(3))

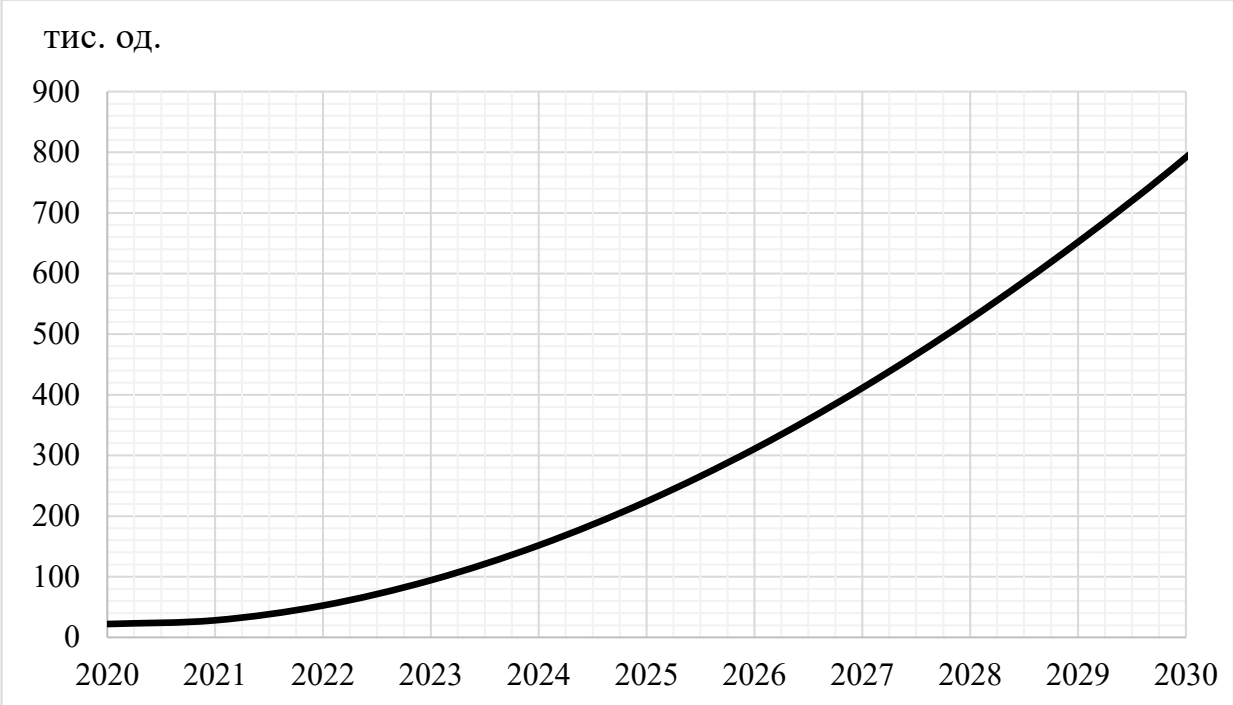


Рисунок 3.70 – Зростання загальної кількості електромобілів в Україні (сценарій 1(3) до 2030 р.)

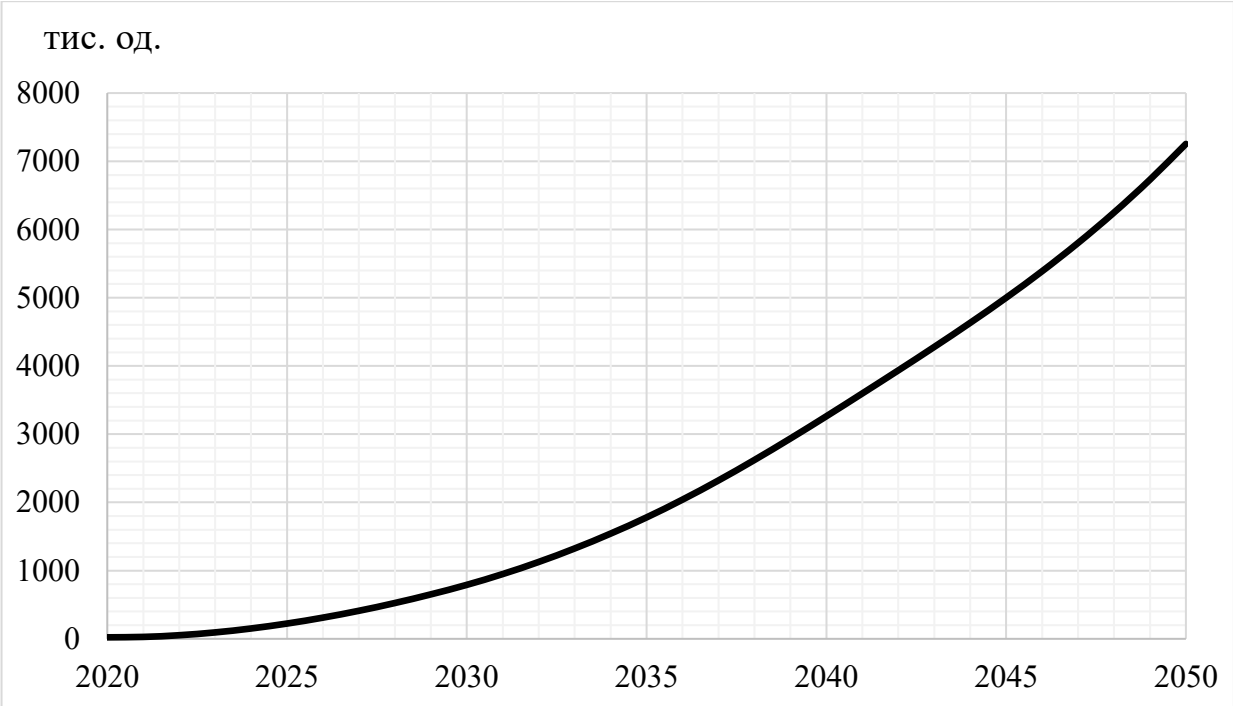


Рисунок 3.71 – Зростання загальної кількості електромобілів в Україні (сценарій 1(3) до 2050 р.)

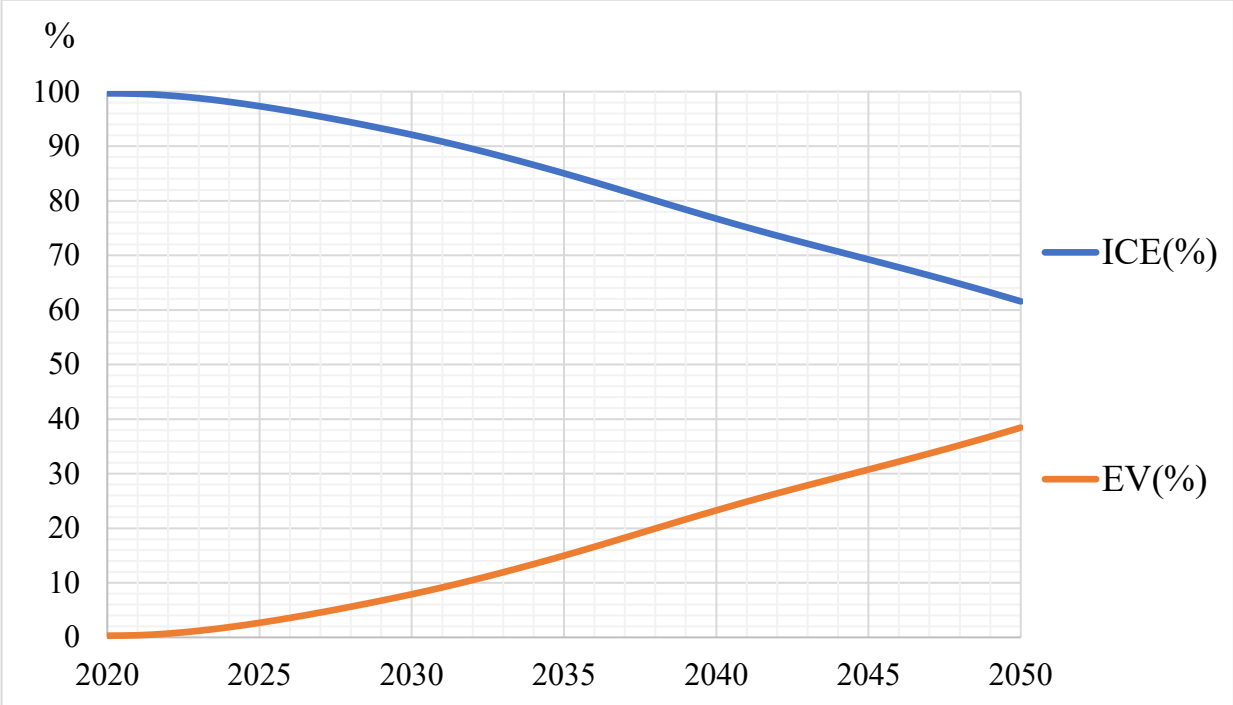


Рисунок 3.72 – Зміна кількості ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння (ICE) та електромобілів в структурі парку (EV)

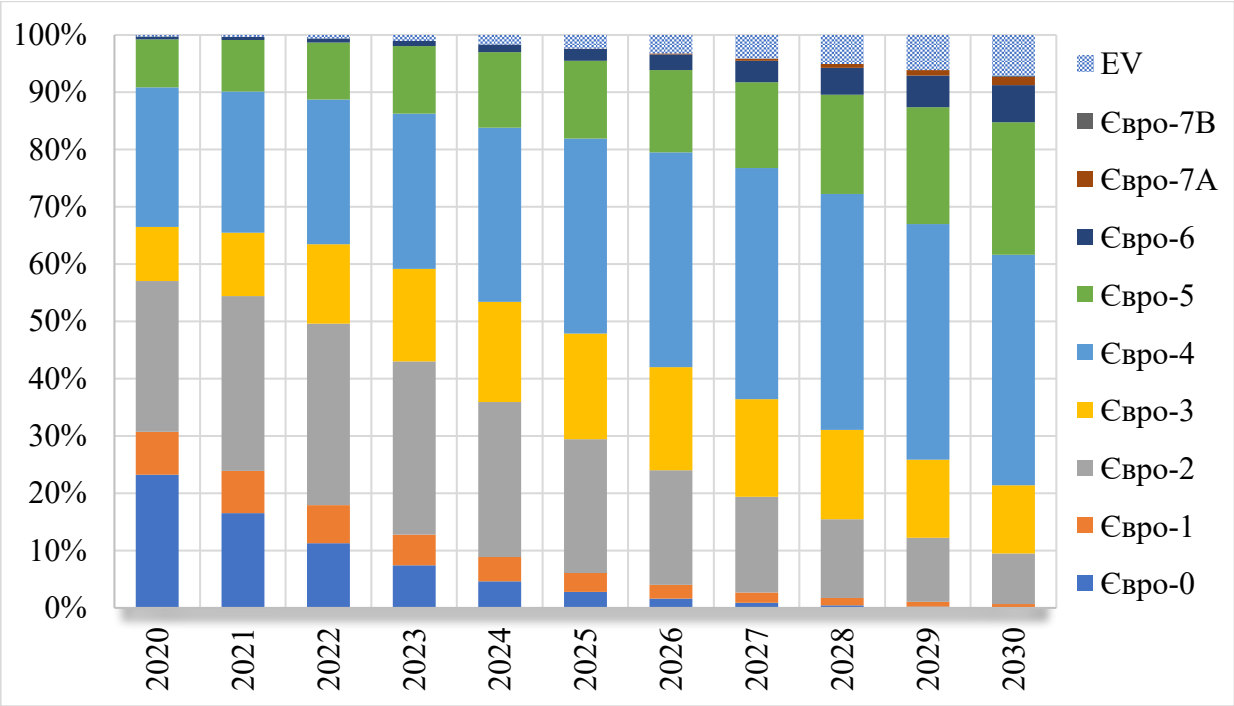


Рисунок 3.73 – Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(3) до 2030 р.)

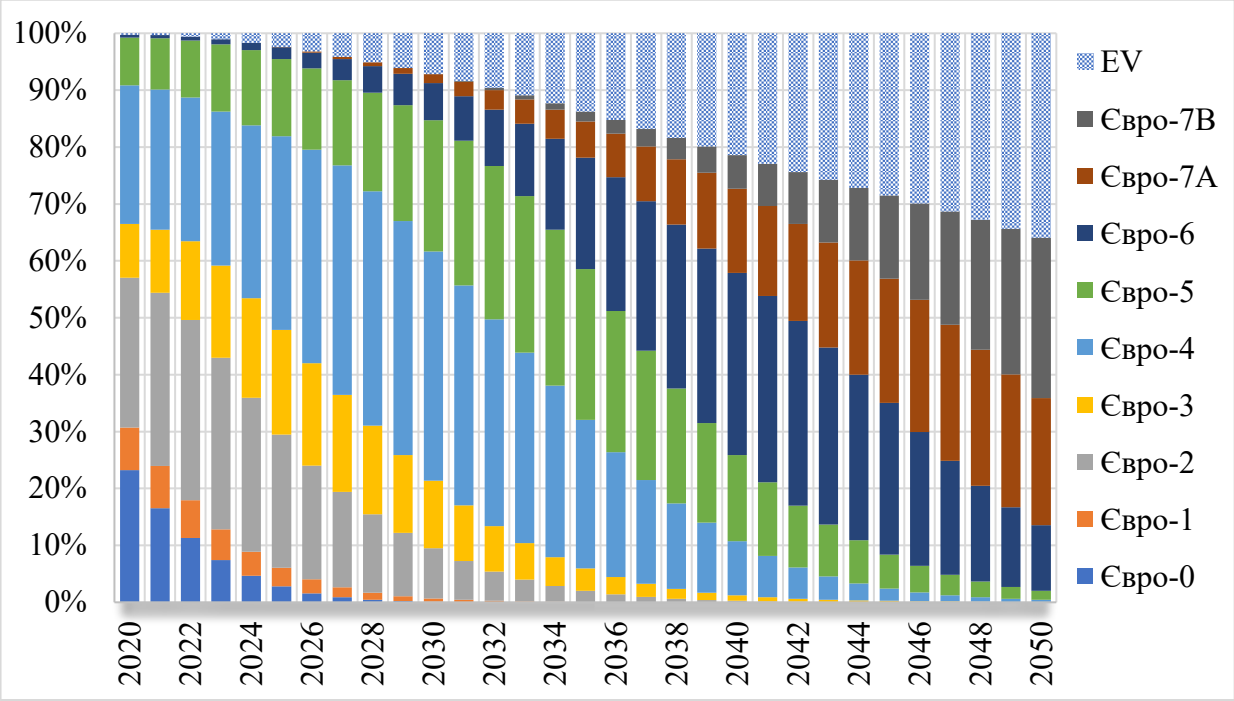


Рисунок 3.74 – Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(3) до 2050 р.)

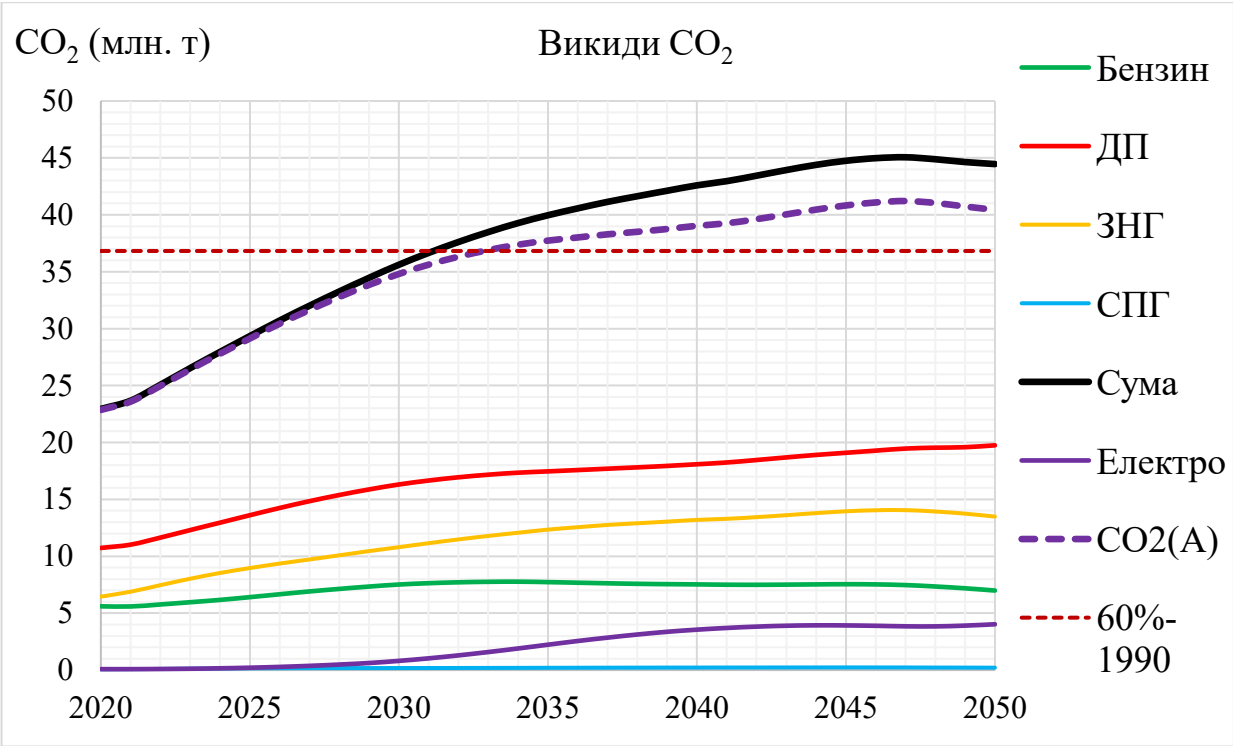


Рисунок 3.75 – Викиди CO_2 парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(3) до 2050 р.)

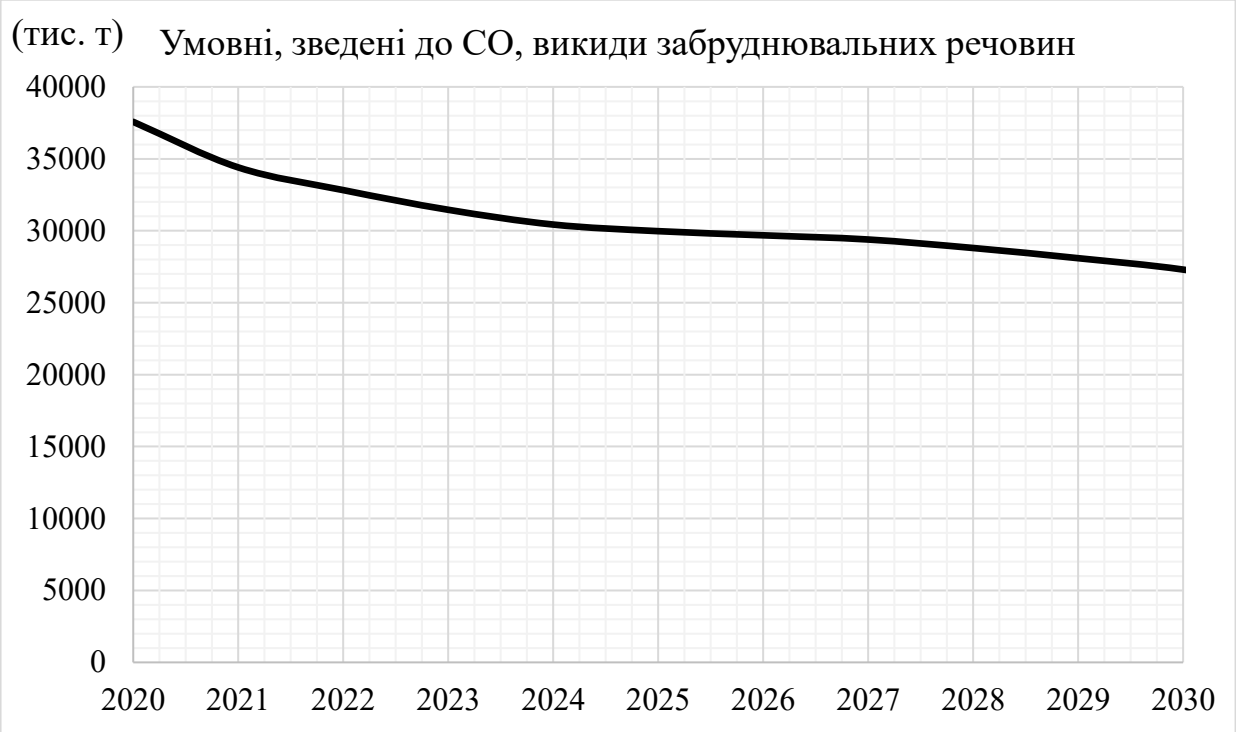


Рисунок 3.76 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин в Україні (сценарій 1(3) до 2030 р.)

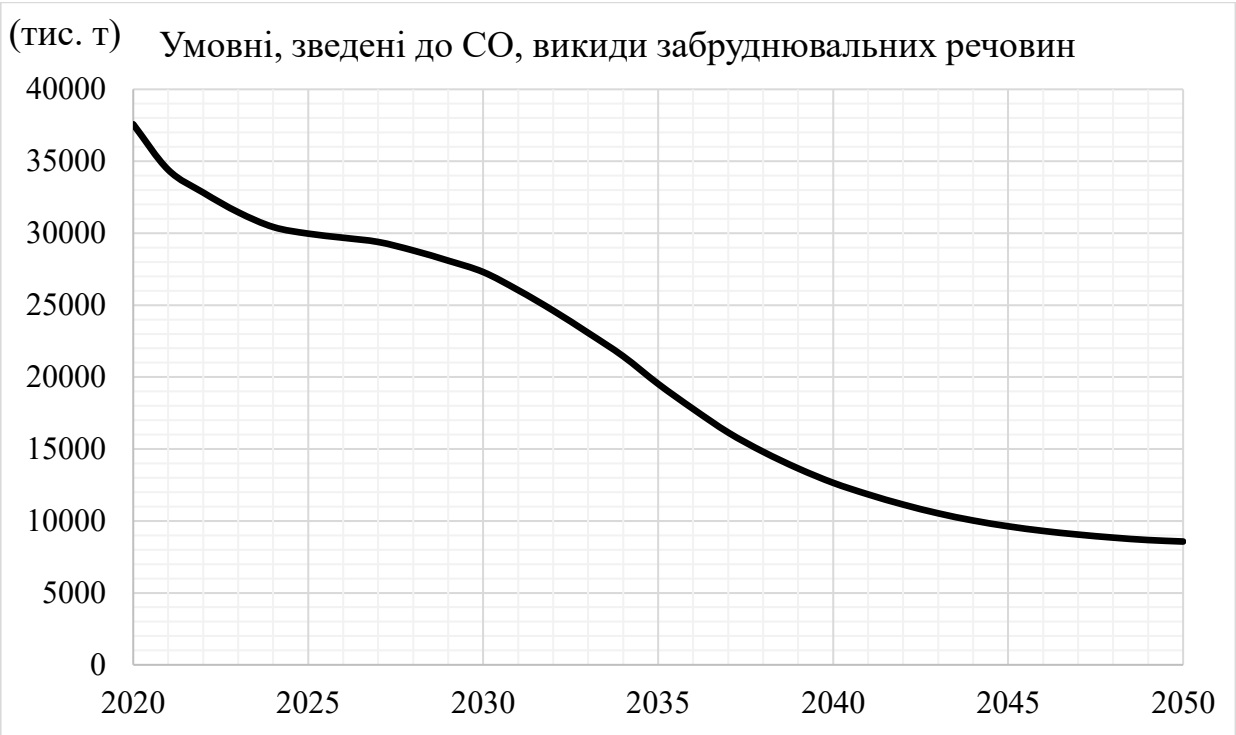


Рисунок 3.77 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин в Україні (сценарій 1(3) до 2050 р.)

Зміну споживання енергії за видами та розподіл показано на рис. 3.78 і рис. 3.79.

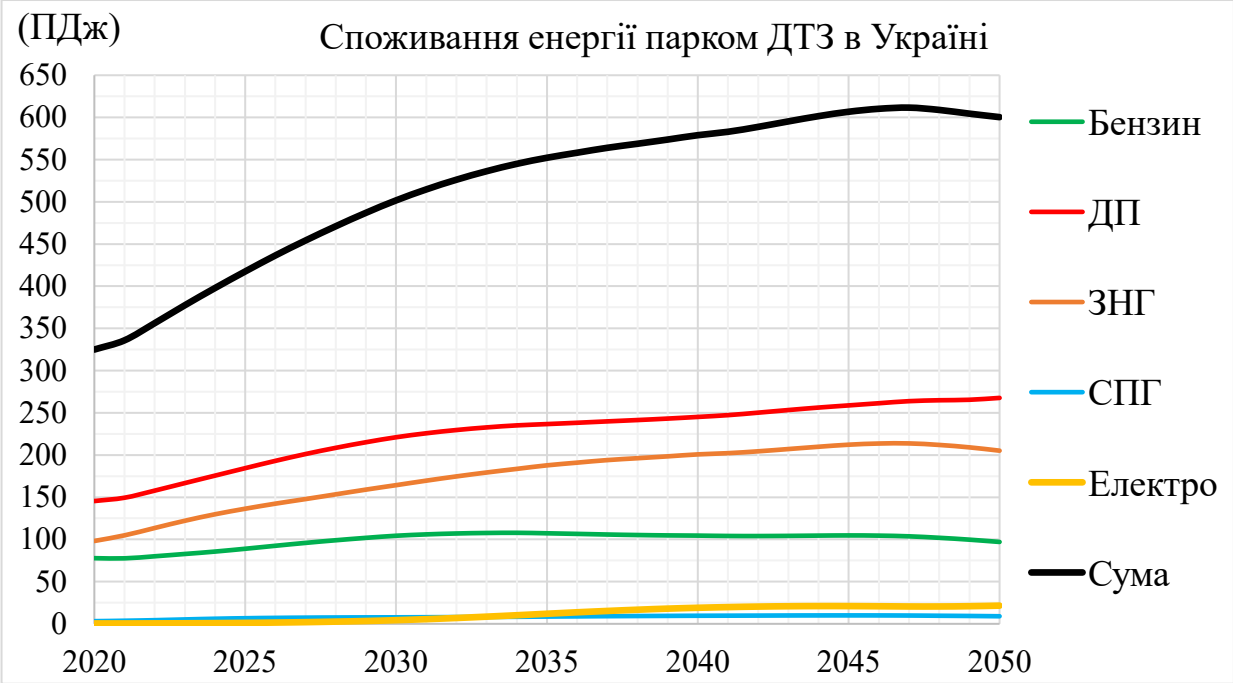


Рисунок 3.78 – Споживання енергії парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(3) до 2050 р.)

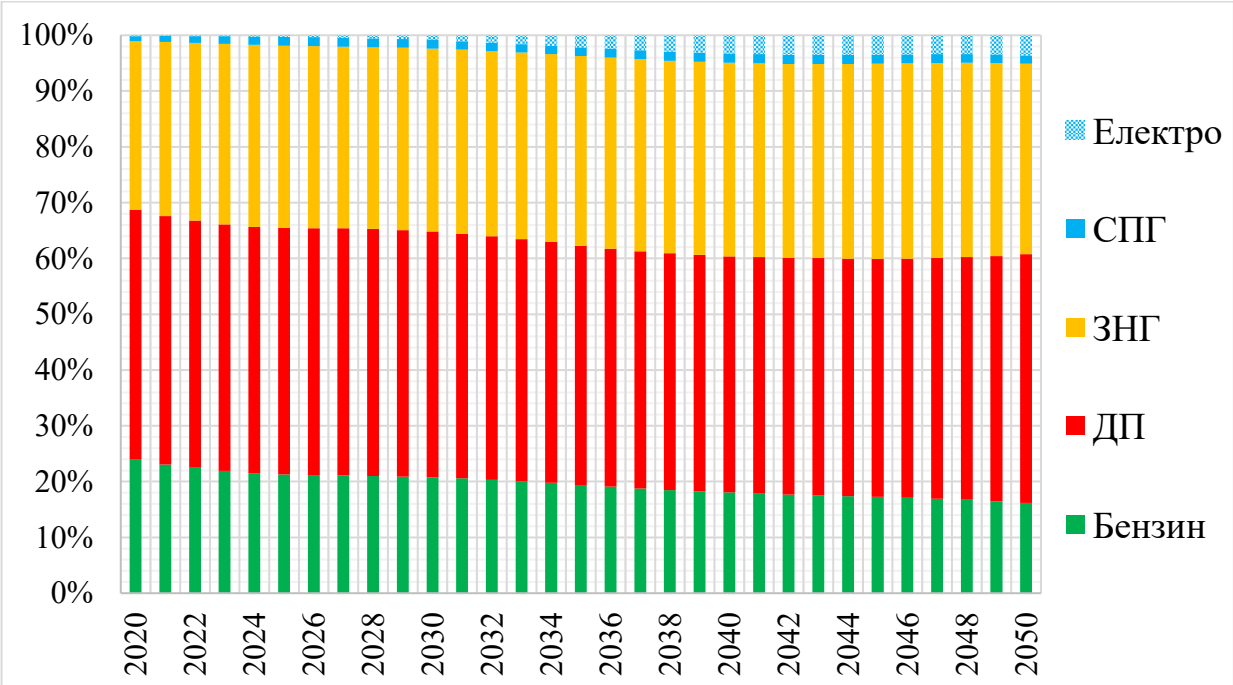


Рисунок 3.79 – Розподіл споживання енергії (сценарій 1(3) до 2050 р.)

3.7. Сценарій, що передбачає поєднання впровадження жорстких норм енергоефективності стимулюванням інтенсивного розвитку електромобілів (сценарій 1(4) до 2050 р.)

Результати моделювання викидів CO_2 за цим сценарієм показано на рис. 3.80.

3.8. Гіпотетичний сценарій створення умов для масового розвитку збільшення споживання СПГ вантажними автомобілями та автобусами

Гіпотетичний сценарій створення умов для масового розвитку збільшення споживання СПГ вантажними автомобілями та автобусами показано на рис. 3.81 – 3.83.

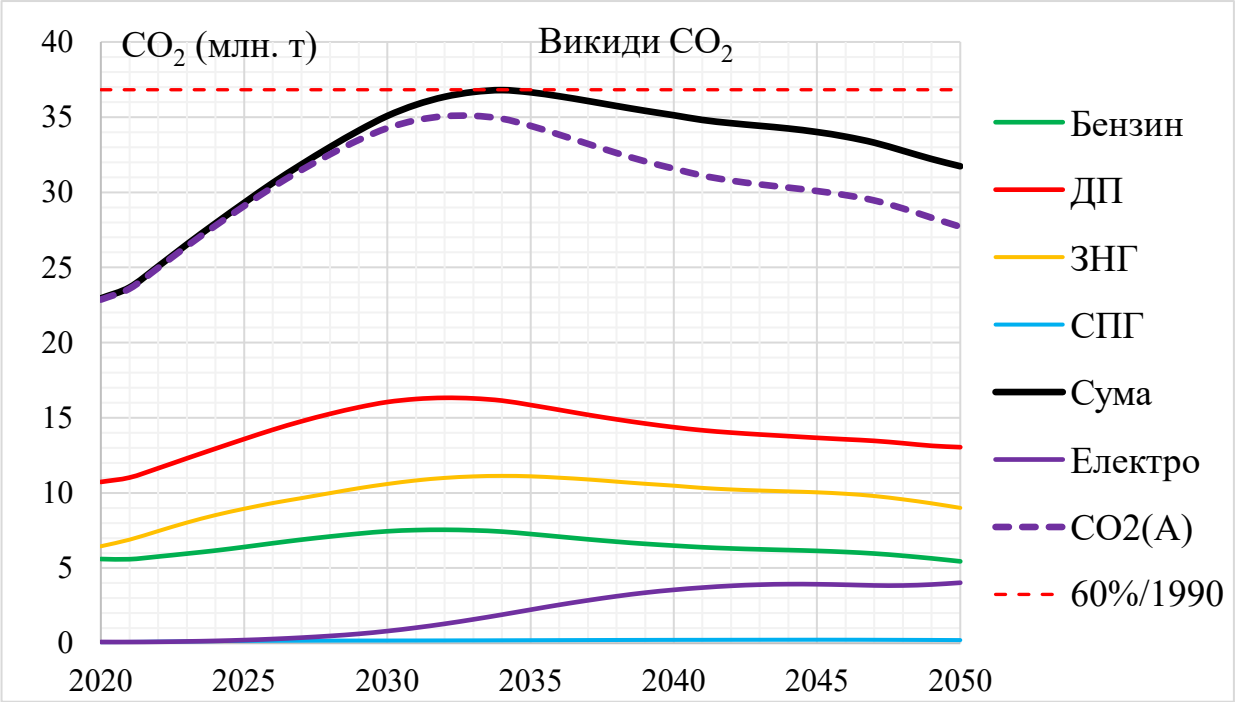


Рисунок 3.80 – Викиди CO_2 парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(4) до 2050 р.)

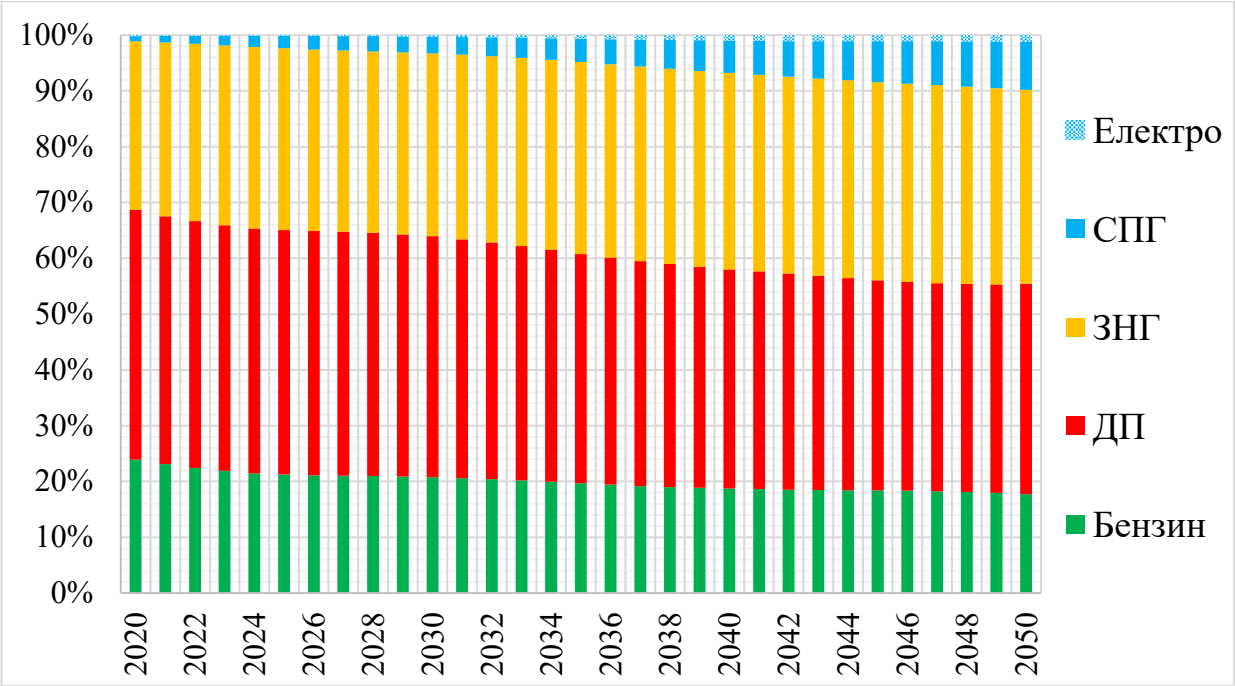


Рисунок 3.81 – Розподіл споживання енергії парком ДТЗ в Україні при збільшенні частки СПГ

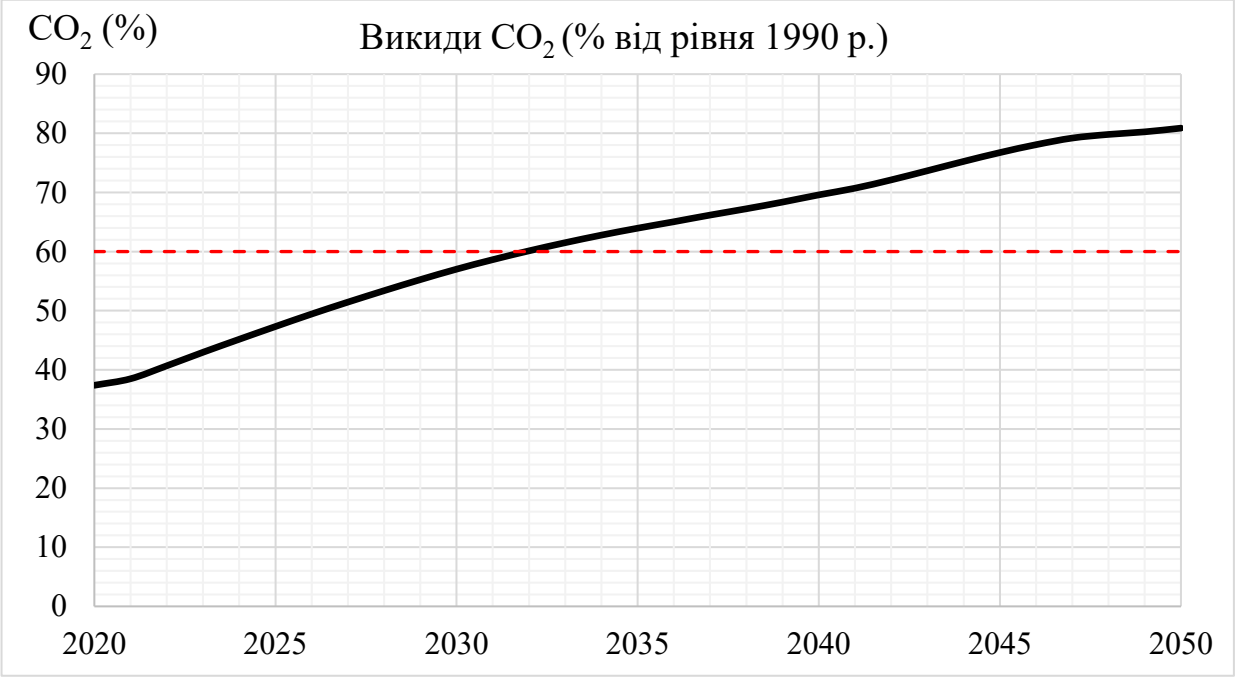


Рисунок 3.82 – Викиди CO2 при збільшенні частки СПГ.

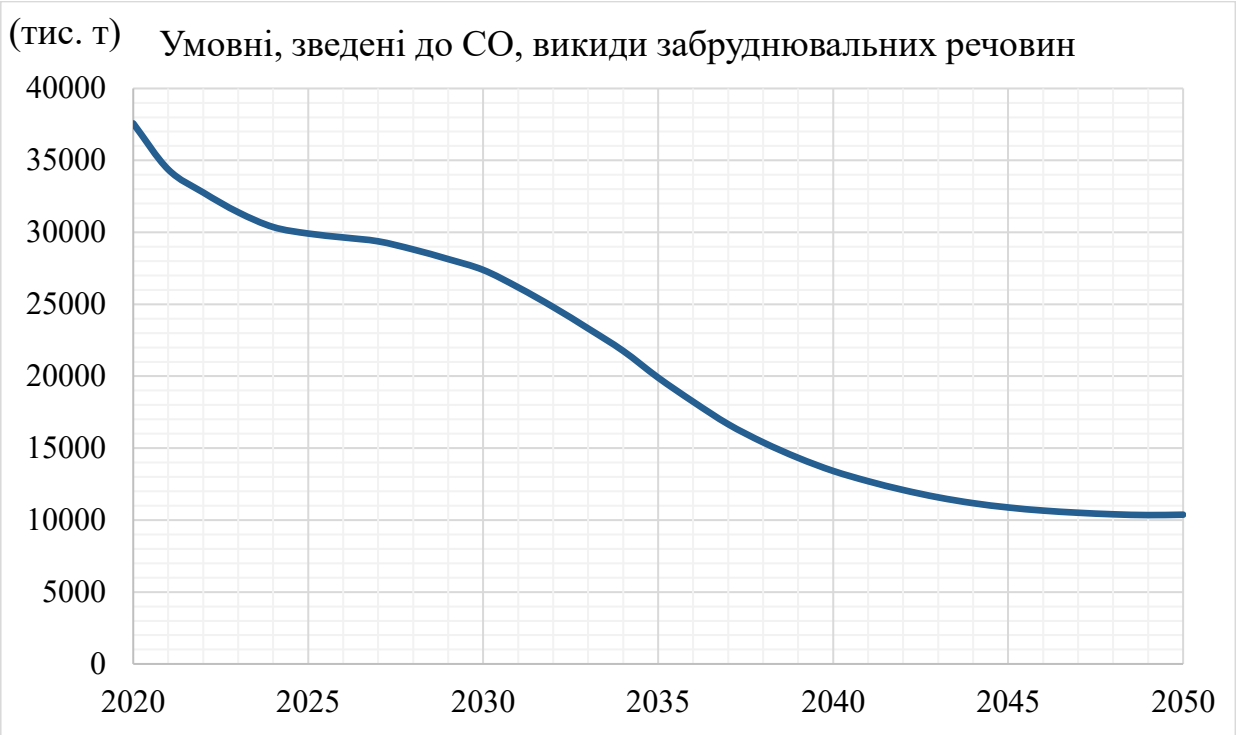


Рисунок 3.83 – Викиди СО(зв.) при збільшенні частки СПГ

3.9. Сценарій, що передбачає впровадження з 2023 р. мінімальних екологічних вимог для автомобілів, що були в користуванні, з дизелями – норм «Євро-5», та з бензиновими двигунами – норм «Євро-4» (сценарій 1(5) до 2050 р.)

Зміну розподілу парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів на період до 2030 р. і до 2050 р. показано на рис 3.84 і рис. 3.85 відповідно.

Зміну умовних, зведених до СО, викидів забруднювальних речовин парком ДТЗ в Україні на період до 2030 р. і до 2050 р. показано на рис 3.86 і рис. 3.87 відповідно.

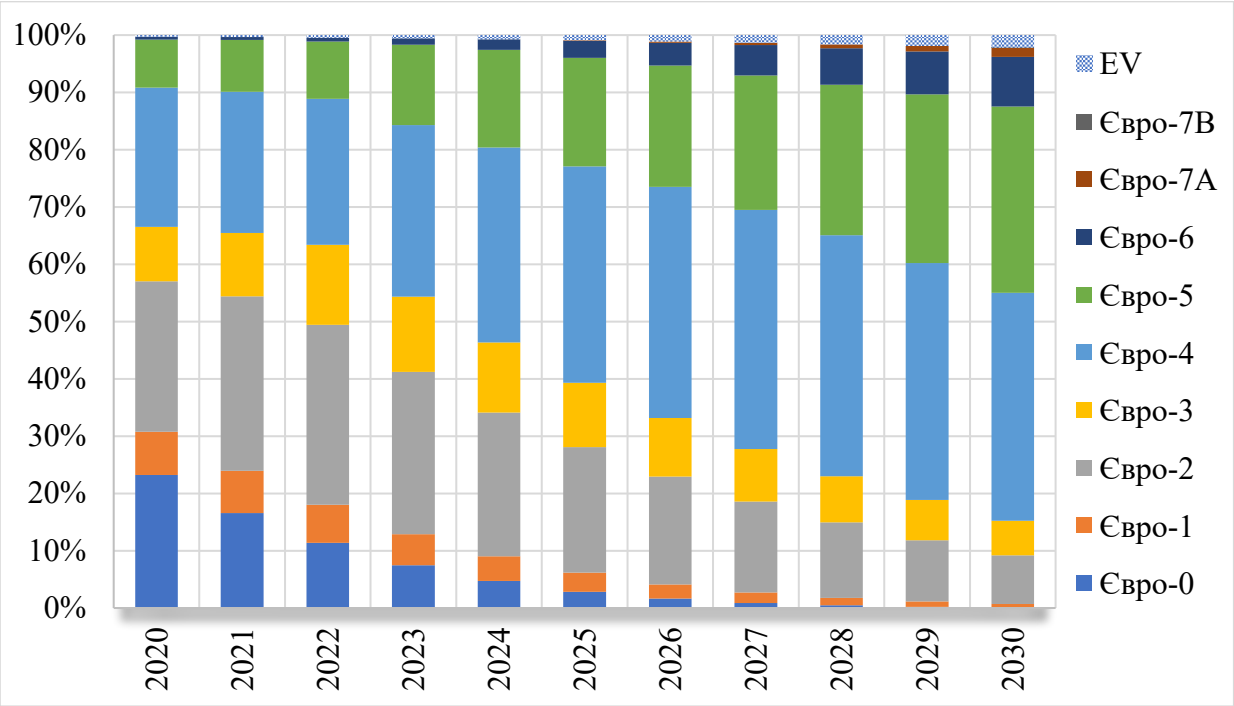


Рисунок 3.84 – Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(5) до 2030 р.)

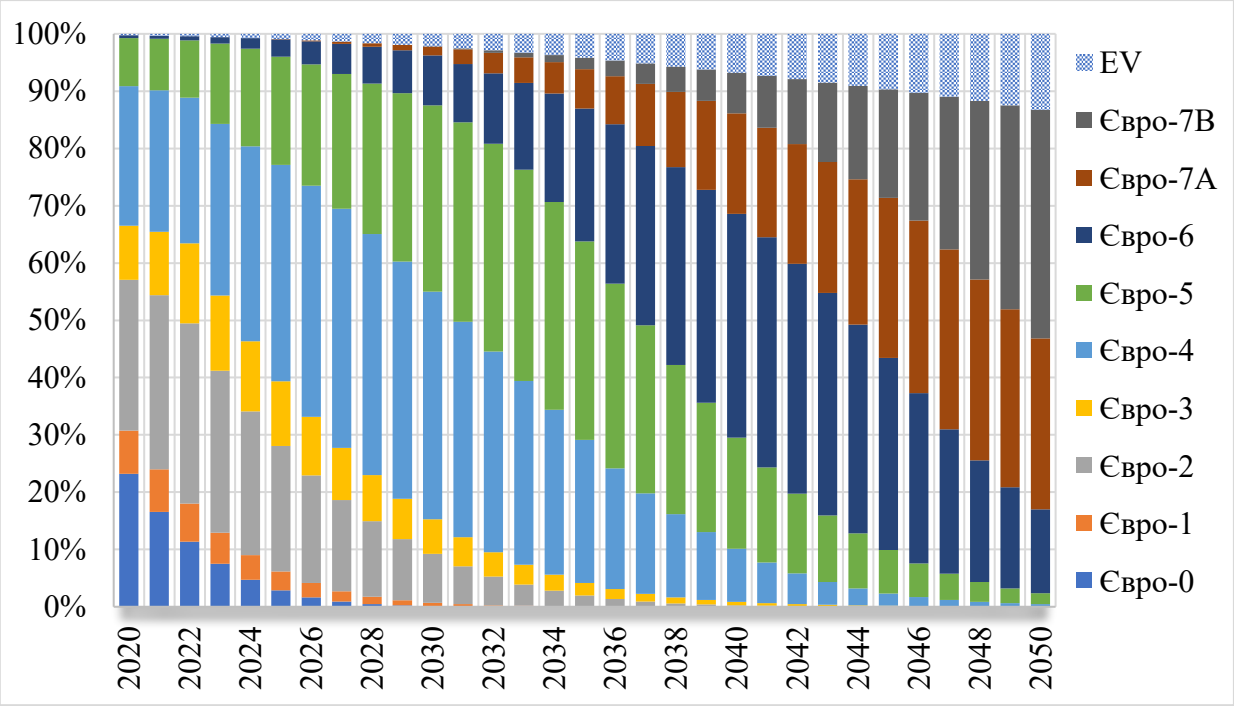


Рисунок 3.85 – Розподіл парку ДТЗ за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(5) до 2050 р.)

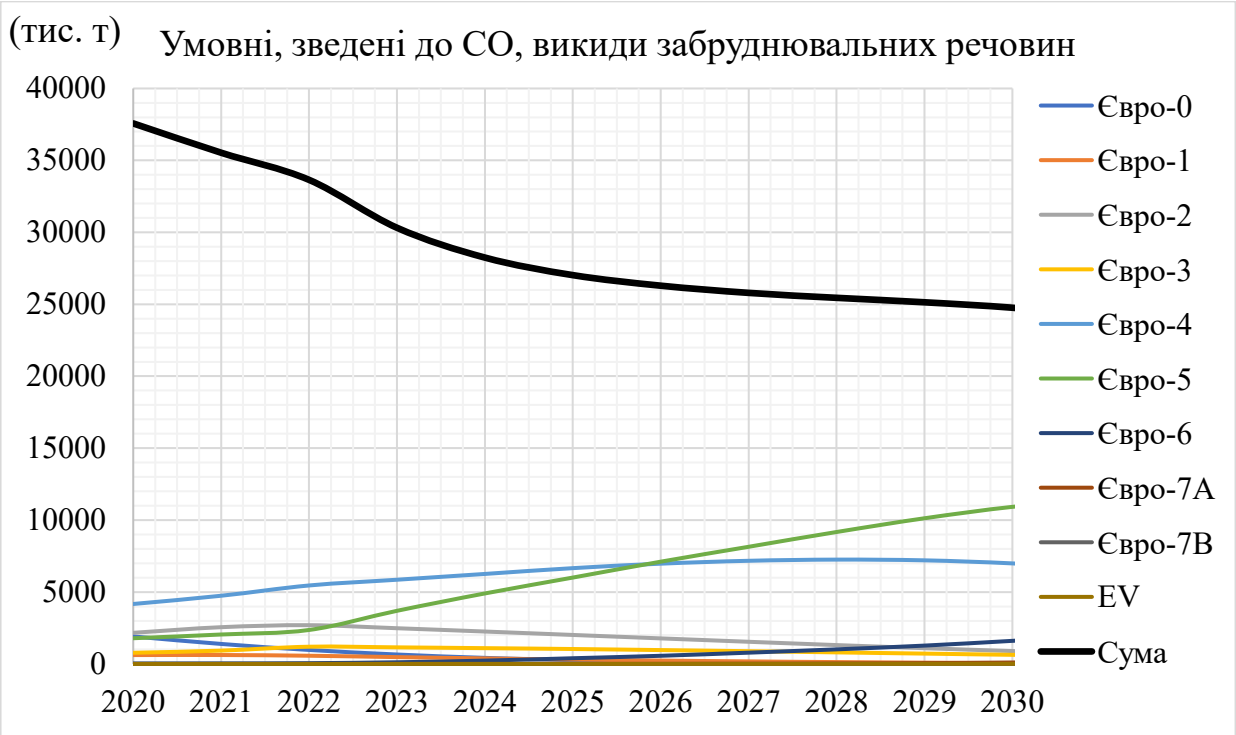


Рисунок 3.86 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(5) до 2030 р.)

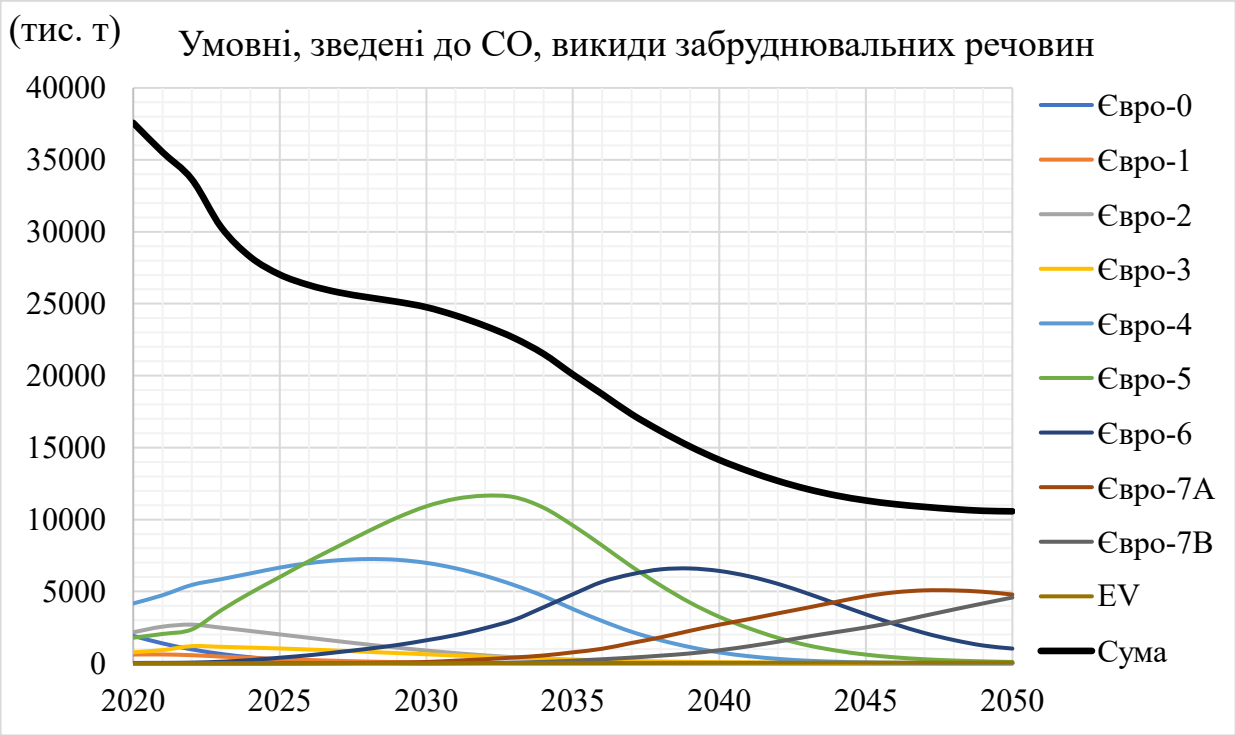


Рисунок 3.87 – Умовні, зведені до СО, викиди забруднювальних речовин парком ДТЗ в Україні (сценарій 1(5) до 2050 р.)

3.10. Аналіз отриманих результатів моделювання

За базовим макроекономічним сценарієм № 1(1) очікується збільшення загальної кількості активних ДТЗ у парку з орієнтовно 8,4 млн. од. у 2020 р. до 10,7 млн. у 2030 р. (рис. 3.1) та, ймовірно, до 20,1 млн. у 2050 р. (рис. 3.2) та істотне покращення екологічної структури парку (рис. 3.3 і рис. 3.4).

Частка електромобілів становитиме у 2030 р. 2,3 % та у 2050 р. – 13,8% (рис. 3.3 і рис. 3.4).

Кількість легкових автомобілів збільшиться з орієнтовно 6,98 млн. у 2020 р. до 9,28 млн. у 2030 р. та, ймовірно, до 17,7 млн. у 2050 р. (рис. 3.5 і рис. 3.6).

Загальна кількість великовантажних автомобілів (HDV) та автобусів може дещо зменшуватися на період до 2025 р. з наступним поступовим зростанням або стабілізацією, але з покращенням ефективності використання парку (рис. 3.7 і рис. 3.8).

Загальні пробіги парком ДТЗ зростатимуть, як це передбачено базовим макроекономічним сценарієм, розглянутим у підрозділі 3.1 (рис. 3.9. і рис. 3.10).

Відповідно, постійно зростатиме загальне споживання енергії парком ДТЗ, за відсутності дійового регулювання у цій сфері, з орієнтовно 325 ПДж у 2020 р. до 509 ПДж у 2030 р. та, ймовірно, до 732 ПДж у 2050 р. (рис. 3.11 і рис. 3.12).

Це відбуватиметься попри постійне зменшення питомого споживання енергії (та, відповідно, питомих викидів CO_2), як це показано на рис. 3.35 – 3.45 для різних видів ДТЗ, оскільки за прийнятим сценарієм зростання транспортної активності відбуватиметься випереджальними темпами. Індикатором можливої подальшої реалізації цього сценарію можуть бути контрольні показники питомого споживання енергії, наведені у підрозділі 3.2 для ДТЗ, що вперше реєструють на ринку.

Можна очікувати збільшення частки зрідженого нафтового газу (ЗНГ) та невеликого зменшення споживання бензинів в загальних обсягах споживання енергії за збереження поточної кон'юнктури ринку моторних палив (рис. 3.13).

За весь прогнозний період біля 70% обсягів споживання енергії парком припадатиме на легкові автомобілі, орієнтовно 7-8 % споживатиме легкий комерційний транспорт (LCV), 16-18 % споживатиме важкий комерційний транспорт (HDV) та біля 7% автобуси за незначною часткою мототехніки (рис. 3.14).

Викиди CO_2 постійно зростатимуть за цим сценарієм з орієнтовно 22,9 млн. т у 2020 р. до 35,7 млн. т у 2030 р. (рис. 3.15), що вже наближається до гранично допустимого значення на рівні 60% від обсягів викидів у 1990 р. (рис. 3.16), як це встановлено законодавством.

До 2050 р. викиди CO_2, ймовірно, зростуть до 52,2 млн. т та вже наближатимуться надалі до 100% від рівня 1990 р. Орієнтовно у 2031 р. викиди CO_2 вже можуть зрівнятися з 60% викидів від рівня 1990 р. або перевищити їх.

Основна частка зростання викидів CO_2 припадатиме на автомобілі з дизелями (рис. 3.19 і рис. 3.20).

Вплив збільшення кількості електромобілів не відіграватиме помітної ролі на споживання енергії та викиди CO_2 транспортом до 2030 р., та може становитиме лише 1,7 % у 2050 р. (рис. 3.19 і рис. 3.20), навіть за умов зростання частки електромобілів до 13,8% у 2050 р. (рис. 3.4). з огляду на високу ефективність використання енергії електромобілями.

Умовні, зведені до CO, викиди забруднювальних речовин поступово зменшуватимуться навіть за умов збереження поточного регулювання у цій сфері, через природнє оновлення парку (рис. 3.21).

Рис. 3.23 і рис. 3.24 надають уявлення щодо сумарних зведених викидів забруднювальних речовин від ДТЗ різних екологічних класів, в міру

природнього виведення з експлуатації застарілих автомобілів та їх поступового оновлення на більш сучасні види конструкції, що відповідають більш високим стандартам.

Наведена картина пояснюється поєднанням питомих викидів забруднювальних речовин ДТЗ в кожній групі, зміною кількості ДТЗ в кожній групі, зміною питомих викидів з часом, як це описано у розділі 5, зміною щорічних пробігів ДТЗ у кожній групі залежно від макроекономічних умов та з врахуванням зменшення з часом щорічних пробігів ДТЗ по мірі старіння та деградації систем контролю токсичності тощо.

Основна частина зведених до СО викидів забруднювальних речовин припадає на ДТЗ з дизелями (рис. 3.25 – 3.28) із поступовим зменшенням до 2030 р. «внеску» ДТЗ, що споживають бензин і ЗНГ і наступною його стабілізацією до 2050 р.

Інтенсивне зменшення зведених до СО викидів забруднювальних речовин від ДТЗ з дизелями за цим сценарієм можна очікувати лише після 2030 рр. зі зменшенням на 50% орієнтовно лише у 2037-2039 рр. за умов виведення з експлуатації ДТЗ застарілих конструкцій, які мають значні вік та загальний пробіг.

Відносний «внесок» в забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами автомобілів з ДВЗ з примусовим запалюванням зменшуватиметься до 2030 р. та потім зростатиме на період до 2050 р. оскільки розвиток стандартів (норм) викидів автомобілів з дизелями та розвиток технологій їх забезпечення відбувається та прогнозовано відбуватиметься випереджальним темпами. Це зумовлено підвищеною увагою регуляторів у цій сфері з огляду на особливу екологічну небезпеку дизелів та їх значно більш високий негативний вплив на якість атмосферного повітря міст, як це показано у розділах 5 і 7.

До 2050 р. сумарні зведені викиди від ДТЗ з ДВЗ примусовим запалюванням та з дизелями матимуть приблизно однаковий «внесок» у

загальні обсяги викидів забруднювальних речовин транспортом за незначної частки СПГ та продуктів зношування від електромобілів (рис. 3.28).

Основна частина сумарних зведених викидів токсичних забруднювальних речовин в атмосферне повітря на території України надходитиме до 2030 р. від важких комерційних транспортних засобів (HDV) (рис. 3.29), хоч вони і споживають всього близько 16% - 18% енергії у секторі (рис. 3.14), та від легкових автомобілів (рис. 3.29).

Орієнтовно після 2033 р. (рис. 3.30) обсяги викидів від важких комерційних транспортних засобів (HDV) та легкових автомобілів будуть дорівнювати один одному з подальшою тенденцією істотного зменшення частки HDV та збільшення вагомості викидів від легкових автомобілів (рис. 3.31 і рис. 3.32).

При цьому частка електромобілів в загальній структурі парку збільшиться до 13,8 % у 2050 р. (рис. 3.33).

За відсутності регулювання екологічних властивостей ДТЗ, що були в користуванні, та продовження масового ввезення таких автомобілів, вікова структура парку залишатиметься дуже застарілою до 2040 р. з прогнозованим початком покращення лише після 2045 р. (рис. 3.34).

Питомі, зведені до СО викиди забруднювальних речовин у г/км пробігу в середньому для парку ДТЗ в Україні мають постійно зменшуватися до 2050 р. з поступовим зменшенням інтенсивності покращення за цим показником та його відносною стабілізацією у 2045-2050 рр. (рис. 3.45). Найбільш інтенсивне покращення очікується за сценарієм, що розглядають, в період 2021-2025 рр. (орієнтовно до 61 % у 2025 р. від рівня 2020 р.). У 2035 р. і 2040 р. очікуються питомі викиди на рівні 25 % і 16 % відповідно з стабілізацією на рівні орієнтовно 10 % від рівня 2020 р., з огляду на межі подальшого покращення показників питомих викидів забруднювальних речовин від ДВЗ.

За оптимістичним макроекономічним сценарієм, як це описано у підрозділі 1.1, викиди CO_2 вже у 2030 р. можуть зрівнятися або перевищити

60 % від обсягу викидів 1990 р. (рис. 3.50) та становити до 65 млн. т у 2050 р. (або 105,9% від рівня 1990 р., що становив 61,37 млн. т.).

При цьому зведені до СО викиди токсичних забруднювальних речовин становитимуть 75 % і 35 % від рівня 2020 р. у, відповідно 2030 р. і 2050 р. (рис. 3.51 і рис. 3.52).

За сценарієм економічної стагнації (розділ 3.4) в умовах поточного варіанту управління (сценарій №3(1)) можна очікувати викиди CO_2 на рівні 38,8 % від обсягів викидів 1990 р. (рис. 3.54) та поступове зменшення зведених викидів токсичних забруднювальних речовин за умов поступового оновлення парку.

За сценарієм жорсткого технічного і фіскального регулювання енергетичної ефективності ДТЗ, що потрапляють на ринок України (розділ 3.4), за базовим макроекономічним сценарієм (сценарій 1(2) до 2050 р.) можна очікувати відносну стабілізацію обсягів щорічного споживання енергії на рівні 504-525 ПДж після орієнтовно 2032-2033 рр. (рис. 3.56) з поступовим невеликим зменшенням частки дизельного палива (рис. 3.57).

При цьому викиди CO_2 можуть зрівнятися з 60 % від обсягів 1990 р. орієнтовно у 2032-2035 р. з наступною стабілізацією, враховуючи викиди CO_2 від електрогенерації, пов’язані із зарядженням електромобілів (рис. 3.58).

При чому втримання викидів на рівні нижче, ніж 60 % від рівня викидів 1990 р. є в принципі (теоретично) можливим за рахунок істотного збільшення відновлюваних (з низькими викидами вуглецю) джерел електричної енергії (див. «CO2(A» (викиди безпосередньо від ДТЗ) та «Сума» на рис. 3.58.

Але, вочевидь, за умов реалізації оптимістичного макроекономічного сценарію (див. підрозділи 3.1. і 3.3) навіть в умовах жорсткого регулювання енергоефективності ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в Україні, викиди CO_2 перевищуватимуть встановлені законодавчо та на міжнародному рівні зобов’язання України.

Індикаторами реалізації цього сценарію є показники питомого споживання моторних палив ДТЗ саме в експлуатації (вони є істотно більшими, ніж показники, що визначають в їздових циклах за міжнародними стандартами), наведені розділі 3.5 (табл. 3.2) для ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в Україні, та показники питомого споживання енергії (та, відповідно, викидів CO_2 з врахуванням частки біопалив на ринку та особливостей їх виробництва тощо) в цілому парком ДТЗ, що перебувають в експлуатації (за умов отримання можливостей їх контролювання в майбутньому шляхом вдосконалення державної статистичної звітності), як це наведено на рис. 3.59 – 3,68 .

Граничний сценарій «вибухоподібного» характеру динаміки щорічного поповнення парку електромобілів в Україні та відповідні йому наслідки розглянуто у підрозділі 3.6.

Показана на рис. 3.69 – рис. 3.72 картина зростання кількості реєстрацій та загальної кількості електромобілів в Україні є надзвичайно оптимістичною (принаймні на даний час відсутні передумови для її реалізації, але їх утворення є теоретично можливим у майбутньому) і, по суті, відображає граничний сценарій з точки зору принципової оцінки можливостей цього заходу з управління.

Навіть за «вибухоподібним» характером зростання кількості електромобілів, їх частка очікується лише на рівні 7,9 % у 2030 р. (рис. 3.72 і рис. 3.73), але може зрости вже до орієнтовно 38,4 % у 2050 р. (рис. 3.72 і рис. 3.74).

З огляду на значну інерційність процесу оновлення парку, за цим сценарієм викиди CO_2 перевищать законодавчо встановлені обмеження вже орієнтовно в 2031-2032 рр. навіть за умов виробництва електроенергії для електромобілів виключно з відновлюваних джерел взагалі без викидів CO_2 (рис. 3.75).

Зведені викиди токсичних речовин в атмосферне повітря виключно від ДТЗ становитимуть у 2030 р. і 2050 р. відповідно 72,6 % і 22,5% (рис. 3.77)

Для порівняння слід навести дані за базовим сценарієм 1(1), в якому викиди токсичних речовин в атмосферне повітря виключно від ДТЗ становитимуть у 2030 р. і 2050 р. відповідно 73,4 % і 27,9 %.

Навіть дуже інтенсивний (на межі, або навіть за межами поточних економічних, технологічних та інфраструктурних можливостей країни принаймні в період 2021-2030 рр., як уявляється) розвиток електромобілів за цим сценарієм (в умовах відсутності дійової політики регулювання викидів від «традиційних» автомобілів з ДВЗ), таким чином, матиме ефектом зменшення зведених сумарних викидів токсичних речовин безпосередньо дорожнім транспортом від 27,6 млн. т (рис. 3.22) до 27,3 млн. т у 2030 р. (рис. 3.77), тобто всього на 1 %, та від 10,5 млн. т (рис. 3.22) до 8,6 млн. т у 2050 р. (рис. 3.77), тобто на 20%.

Таким чином, навіть надзвичайно інтенсивне зростання кількості електромобілів практично не матиме впливу на загальні викиді токсичних речовин парком ДТЗ в Україні у 2030 р., та дозволить знизити їх викиди лише на 20 % у 2050 р. враховуючи частку автомобілів з ДВЗ, що залишатиметься

До цього слід додати, що впровадження локальних обмежень до ДТЗ з ДВЗ та преференції для електромобілів (так званих екологічних зон) має потенціал істотного покращення якості атмосферного повітря в містах, як це показано у розділах 5 і 7.

Разом з тим, виробництво електромобілів та їх подальша утилізація пов’язані з істотно більшими обсягами викидів парникових газів та токсичних речовин, що може бути також розглянуто на основі системного підходу та інструментів, розроблених у розділі 2, з врахуванням просторового розподілення викидів токсичних речовин та шкоди, що вони завдають тощо. Але такі дослідження виходять за рамки даної дисертаційної роботи.

Загальне споживання енергії за цим сценарієм становитиме у 2050 р. орієнтовно 600 ПДж (рис. 3.78) проти 732 ПДж за базовим сценарієм 1(1), що зумовлено переважно заміщенням електромобілями (з відносно низьким питомим споживанням енергії) автомобілів з ДВЗ.

У 2050 р. електромобілі споживатимуть всього 3,6 % (рис. 3.78 і рис. 3.79) від загального обсягу енергії, що споживає дорожній транспорт, при тому, що їх частка в структурі парку збільшиться до 38,4 %.

Сценарій, що передбачає поєднання впровадження жорстких норм енергоефективності стимулюванням інтенсивного розвитку електромобілів (сценарій 1(4) до 2050 р.) (підрозділ 3.7, рис. 3.80) доводить про потенційну можливість втримання за базовим макроекономічним сценарієм викидів CO_2 на рівні не вище 60 % від обсягів 1990 р. з проходженням у часі піку викидів на рівні, що майже дорівнює встановлені обмеження, орієнтовно у 2033-2035 рр., та подальшим зменшенням до орієнтовно 31,7 % (52% від рівня 1990 р.).

Але гарантоване не перевищення встановлених обсягів викидів CO_2 потребуватиме також істотного зростання частки відновлюваних джерел в електрогенерації (див. сумарні викиди за поточною структурою електрогенерації «Сума» та виключно від ДТЗ «CO2(A)». Очевидно, що зменшення питомих викидів CO_2 на квт×год в енергосистемі, наприклад, на 50% у 2050 р. дозволило би зменшити сукупні зведені викиди CO_2 для забезпечення автотранспорту енергією до орієнтовно 30 млн. т. або 48,9 % від рівня 1990 р.

Змодельований також гіпотетичний сценарій створення умов для масового розвитку збільшення споживання СПГ вантажними автомобілями та автобусами, що показаний на рис. 3.81 – 3.83. Доведено, що це матиме невеликий ефект на зменшення викидів CO2, що дозволило би перенести досягнення 60% від рівня викидів з орієнтовно 2031 р. на 2032 р., та зменшити

викиди у 2050 р. з 85 % до 81 % від рівня 1990 р., та отримати незначний ефект на зведені викиди токсичних речовин парком в цілому.

Питання комплексного аналізу ефективності використання СПГ транспортом, оптимізації структури енергозабезпечення та створення механізмів розширення використання природного газу на автомобільному транспорті розглянуто автором у [342 – 344].

У роботі були змодельовані різні варіанти впровадження більш жорстких екологічних стандартів до ДТЗ в Україні та вплив цього фактору на поступове зменшення викидів забруднювальних речовин парком в цілому.

В практичній площині уявляється доцільним розглянути сценарій (підрозділ 3.8), що передбачає впровадження з 2023 р. мінімальних екологічних вимог для автомобілів, що були в користуванні, з дизелями – норм «Євро-5», та з бензиновими двигунами – норм «Євро-4» (сценарій 1(5) до 2050 р.).

Отримані результати математичного моделювання доводять можливість, таким чином, зменшити зведені викиди токсичних речовин від автотранспорту в атмосферне повітря з орієнтовно 37,6 млн. т у 2020 р. до 27 млн. т у 2025 р. і 24,8 млн. т у 2030 р. (рис. 3.86) проти 30 млн. т. у 2025 р. і 27,6 млн. т у 2030 р. (рис. 3.22) за базовим сценарієм 1(1).

Тобто, у порівнянні з базовим варіантом управління в цій сфері, зменшення становитиме 10 % у 2025 р. і також всього 10 % у 2030 р., що зумовлено значною кількістю вже ввезених в країну ДТЗ значного віку та із значним загальним пробігом.

Зменшення сумарних питомих викидів в короткостроковій та середньостроковій перспективі на 10% є вагомим результатом, але, як доведено у роботі, абсолютно недостатнім для відчутного покращення якості атмосферного повітря в містах.

На період до 2050 р. цей захід вже, звичайно, не матиме істотного впливу через виведення до того часу з експлуатації автомобілів зазначених

екологічних класів (див. рис. 3.22, 3.87, а також 3.24, де показано «внесок» в забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами ДТЗ різних екологічних класів, і, відповідно, років виробництва, експлуатації та подальшої утилізації).

Таким чином, результати математичного моделювання доводять, що кардинальне зменшення викидів автотранспортом та покращення якості атмосферного повітря міст у середньостроковій перспективі, окрім впровадження більш прогресивних екологічних норм до ДТЗ, що вперше вводять в експлуатації (реєструють) в України, потребує також реалізації комплексу заходів із зменшення викидів в цілому від потоків автотранспорту, що вже перебуває в експлуатації.

Єдиним дійовим та доступним у практичній площині таким заходом є диференціація умов доступу транспорту до надмірно забруднених територій (впровадження екологічних зон, як це відбувається в країнах ЄС).

Такий захід із пропозиціями щодо впровадження уніфікованої системи екологічного маркування транспорту та екологічних зон в містах України розроблено у розділі 5.

3.11. Рекомендації щодо напрямів подальших досліджень

З використанням розроблених у розділі 2 інструментів моделювання та прогнозування змін в кількості та структурі парку ДТЗ в країні, їх активності, споживання енергії та викидів забруднювальних речовин, може бути рекомендовано в подальшому проведення більш детальних досліджень впливу різних факторів і заходів з управління за розширеним переліком макроекономічних сценаріїв із одночасними дослідженнями в частині отримання (уточнення) широкого переліку вихідних даних, що стосуються детальної структури парку, зміни щорічних пробігів ДТЗ різних категорій з віком, динаміки вибуття ДТЗ з експлуатації з віком, зміни з віком експлуатаційних властивостей ДТЗ тощо.

З використанням розроблених у розділі 2 системного підходу та математичного апарату рекомендовано в подальшому проведення досліджень, що враховують розподілені у часі і просторі викиди в повному життєвому циклі із розглядом всіх елементів системи, в яких можуть бути впроваджені певні заходи з управління.

Проведення такого комплексу досліджень, звичайно, далеко виходить за межі однієї дисертаційної роботи.

3.12. Висновки до розділу 3

1. Вперше досліджено на математичних моделях, на основі розроблених у розділі 2 методологічних підходів і математичних моделей, можливі сценарії зміни на період до 2030 р. та на період до 2050 р. у структурі, чисельності та активності парку ДТЗ в Україні, споживання різних видів енергії та обсягів викидів забруднювальних речовин, що відповідають різним сценаріям соціально-економічного розвитку країни та варіантам державного регулювання у цій сфері, які можуть бути розглянуті у практичній площині, та відповідають цілям і завданням роботи.

2. Таким чином, вперше отримано результати розрахунків можливого впливу (прогнозування), зокрема, таких основних заходів з управління, як запровадження стандартів енергетичної ефективності, стимулювання збільшення в структурі парку електромобілів, запровадження екологічних стандартів «Євро», на динаміку зміни та чисельні оцінки обсягів використання енергії та викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря парком ДТЗ в Україні, що охоплюють періоди до 2030 р. і до 2050 р., та враховують основні супутні чинники впливу.

3. Вперше встановлено, що за базовим макроекономічним сценарієм розвитку економіки України на період до 2030 р. (наданим Інститутом економіки та прогнозування НАН України), та за умов збереження поточного

варіанту регулювання енергоефективності у сфері дорожнього транспорту (відсутності обов'язкових стандартів, фіскальних та інших заходів із стимулювання у сфері енергоефективності транспорту), зокрема:

1) викиди CO_2 можуть становити до 35,7 млн. т у 2030 р., тобто вже майже наблизяться до гранично допустимого значення на рівні 60% від обсягів викидів у 1990 р. (61,37 млн. т), як це встановлено національним законодавством та міжнародними зобов'язаннями України за Паризькою Угодою;

2) орієнтовно у 2031 р. викиди CO_2 вже можуть зрівнятися з 60% викидів від рівня 1990 р. або перевищити їх;

3) до 2050 р. викиди CO_2 дорожнім транспортом за цим сценарієм, ймовірно, зростуть до 52,2 млн. т та вже наближатимуться надалі до 100% від рівня 1990 р.

4. Вперше встановлено, що за оптимістичним макроекономічним сценарієм (наданим Інститутом економіки та прогнозування НАН України), викиди CO_2 вже у 2030 р. можуть зрівнятися або перевищити 60 % від обсягу викидів 1990 р., та становити до 65 млн. т у 2050 р., або 105,9% від рівня 1990 р.

5. Таким чином, вперше було доведено, що за умов збереження поточного варіанту державного управління у сфері споживання енергії та викидів парникових газів дорожнім транспортом, та реалізації базового макроекономічного сценарію розвитку економіки України, не уявляється можливим не тільки досягнення більш амбітних цілей у скороченні викидів парникових газів цим сектором (як зараз наполегливо вимагає міжнародне співтовариство), але й знаходиться під загрозою виконання вже взятих Україною міжнародних зобов'язань не перевищити у 2030 р. 60% від обсягів викидів рівня 1990 р. в частині транспортної галузі. Невиконання Україною вже прийнятих міжнародних зобов'язань у сфері зміни клімату (або ще більш амбітних зобов'язань, що можуть бути встановлені в рамках другого

національно визначеного внеску (НВВ) з огляду на більш прогресивні цілі, що встановлюють країни ЄС) матиме дуже негативні політичні, економічні та соціальні наслідки для країни, та ця проблема потребує вирішення.

6. Вперше встановлено, що вплив реалістичного збільшення кількості електромобілів (що було раніше запропоновано як ключовий захід у скорочення викидів парникових газів у сфері транспорту) насправді не відіграватиме помітної ролі на споживання енергії (та викиди CO_2) транспортом ще до 2030 р., та може становитиме лише 1,7 % у 2050 р., навіть за умов зростання частки електромобілів до 13,8% у 2050 р.;

7. Вперше показано, що навіть за «вибухоподібним» характером зростання кількості електромобілів (фактично за межами наявних сьогодні та прогнозованих принаймні на період до 2025 р. економічних, технологічних та інфраструктурних можливостей країни), їх частка очікується лише на рівні 7,9 % у 2030 р., але може зрости вже до орієнтовно 38,4 % у 2050 р. З огляду на значну інерційність процесу оновлення парку, за цим сценарієм викиди CO_2 перевищать законодавчо встановлені обмеження вже орієнтовно в 2031-2032 рр. навіть за умов виробництва електроенергії для електромобілів виключно з відновлюваних джерел взагалі без викидів CO_2.

8. Показано, що за сценарієм жорсткого технічного і фіскального регулювання енергетичної ефективності ДТЗ, що потрапляють на ринок України в умовах базового макроекономічного сценарію можна очікувати відносну стабілізацію обсягів щорічного споживання енергії на рівні 504-525 ПДж після орієнтовно 2032-2033 рр.

При цьому викиди CO_2 можуть зрівнятися з 60 % від обсягів 1990 р. орієнтовно у 2032-2035 р. з наступною стабілізацією, враховуючи викиди CO_2 від електрогенерації, пов’язані із зарядженням електромобілів.

При чому втримання викидів на рівні нижче, ніж 60 % від рівня викидів 1990 р. є в принципі (теоретично) можливим за рахунок істотного збільшення відновлюваних (з низькими викидами вуглецю) джерел електричної енергії.

Але, вочевидь, за умов реалізації оптимістичного макроекономічного сценарію навіть в умовах жорсткого регулювання енергоефективності ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію в Україні, викиди CO_2 перевищуватимуть максимально допустимий рівень, встановлений законодавчо та відповідно до міжнародних зобов'язань України.

9. Доведено, що за сценарієм, що передбачає поєднання впровадження жорстких норм енергоефективності стимулюванням інтенсивного розвитку електромобілів, існує потенційна можливість втримання за базовим макроекономічним сценарієм викидів CO_2 на рівні не вище 60 % від обсягів 1990 р. з проходженням у часі піку викидів на рівні, що майже дорівнює встановлені обмеження, орієнтовно у 2033-2035 рр., та подальшим зменшенням до орієнтовно 31,7 % (52% від рівня 1990 р.).

Але гарантоване не перевищення встановлених обсягів викидів CO_2 потребуватиме також істотного зростання частки відновлюваних джерел в електрогенерації.

Показано, що зменшення питомих викидів CO_2 на квт×год в енергосистемі, наприклад, на 50% у 2050 р. дозволило би зменшити сукупні зведені викиди CO_2, пов'язані зі спалюванням моторних палив та із забезпеченням автотранспорту електроенергією, до орієнтовно 30 млн. т. або 48,9 % від рівня 1990 р.

10. Надано контрольні індикатори ефективності використання енергії ДТЗ, що вперше вводять в експлуатацію (реєструють) в Україні, та в цілому парком, що перебуває в експлуатації (останні також враховують вплив факторів з управління, зосереджених в експлуатації та пов'язаних з транспортною інфраструктурою), що дозволяють відслідковувати в часі реалізацію тих чи інших сценаріїв подальшого розвитку, оцінювати можливості з досягнення та хід реалізації встановлених цілей із зменшення споживання енергії та викидів CO_2 в цілому парком транспортних засобів із вчасним запровадженням коригувальних заходів.

11. Показано, що, за базовим макроекономічним сценарієм та поточним регулюванням норм викидів забруднювальних речовин ДТЗ, основна частина зведених до СО викидів забруднювальних речовин припадає на ДТЗ з дизелями із поступовим зменшенням до 2030 р. «внеску» ДТЗ, що споживають бензин і ЗНГ і наступною його стабілізацією до 2050 р.

12. Показано, що інтенсивне зменшення зведених до СО викидів забруднювальних речовин від ДТЗ з дизелями за цим сценарієм можна очікувати лише після 2030 рр. зі зменшенням на 50% орієнтовно лише у 2037-2039 рр. за умов виведення з експлуатації ДТЗ застарілих конструкцій, які мають значні вік та загальний пробіг.

13. Показано, що основна частина сумарних зведених викидів токсичних забруднювальних речовин в атмосферне повітря на території України надходитиме до 2030 р. від важких комерційних транспортних засобів (HDV), хоч вони і споживають всього близько 16% - 18% енергії у секторі, та від легкових автомобілів.

Орієнтовно після 2033 р. обсяги викидів від важких комерційних транспортних засобів (HDV) та легкових автомобілів будуть дорівнювати один одному з подальшою тенденцією істотного зменшення частки HDV та збільшення вагомості викидів від легкових автомобілів.

14. Показано, що, за відсутності регулювання екологічних властивостей ДТЗ, що були в користуванні, та продовження масового ввезення таких автомобілів, вікова структура парку залишатиметься дуже застарілою до 2040 р. з прогнозованим початком покращення лише після 2045 р.

15. Показано, що, за базовим сценарієм, питомі, зведені до СО викиди забруднювальних речовин у г/км пробігу в середньому для парку ДТЗ в Україні мають постійно зменшуватися до 2050 р. з поступовим зменшенням інтенсивності покращення за цим показником та його відносною стабілізацією у 2045-2050 рр. Найбільш інтенсивне покращення очікується за цим сценарієм в період 2021-2025 рр. (орієнтовно до 61 % у 2025 р. від рівня 2020 р.). У

2035 р. і 2040 р. очікуються питомі викиди на рівні 25 % і 16 % відповідно з стабілізацією на рівні орієнтовно 10 % від рівня 2020 р., з огляду на межі подальшого покращення показників питомих викидів забруднювальних речовин від ДВЗ.

16. Показано, що, за базовим макроекономічним сценарієм, навіть дуже інтенсивний розвиток електромобілів (в умовах відсутності дійової політики регулювання викидів від «традиційних» автомобілів з ДВЗ), матиме ефектом зменшення зведених сумарних викидів токсичних речовин безпосередньо дорожнім транспортом від 27,6 млн. т до 27,3 млн. т у 2030 р., тобто всього на 1 %, та від 10,5 млн. т до 8,6 млн. т у 2050 р., тобто на 20%.

Отже, навіть надзвичайно інтенсивне зростання кількості електромобілів практично не матиме впливу на загальні викиді токсичних речовин парком ДТЗ в Україні у 2030 р., та дозволить знизити їх викиди лише на 20 % у 2050 р. враховуючи частку автомобілів з ДВЗ, що залишатиметься.

17. Показано, що за реалізації умов для зростання частки електромобілів до 38,4 % у 2050 р., вони споживатимуть всього 3,6 % від загального обсягу енергії, що споживає дорожній транспорт.

18. В практичній площині уявляється доцільним розглянути сценарій, що передбачає впровадження з 2023 р. мінімальних екологічних вимог для автомобілів, що були в користуванні, з дизелями – норм «Євро-5», та з бензиновими двигунами – норм «Євро-4».

Отримані результати математичного моделювання доводять можливість, таким чином, зменшити зведені викиди токсичних речовин від автотранспорту в атмосферне повітря з орієнтовно 37,6 млн. т у 2020 р. до 27 млн. т у 2025 р. і 24,8 млн. т у 2030 р. проти 30 млн. т. у 2025 р. і 27,6 млн. т у 2030 р. за базовим макроекономічним сценарієм.

Тобто, у порівнянні з базовим варіантом управління в цій сфері, зменшення становитиме 10 % у 2025 р. і також всього 10 % у 2030 р., що

зумовлено значною кількістю вже ввезених в країну ДТЗ значного віку та із значним загальним пробігом.

Таким чином, результати математичного моделювання доводять, що кардинальне зменшення викидів автотранспортом та покращення якості атмосферного повітря міст у середньостроковій перспективі, окрім впровадження більш прогресивних екологічних норм до ДТЗ, що вперше вводять в експлуатації (реєструють) в України, потребує також реалізації комплексу заходів із зменшення викидів в цілому від потоків автотранспорту, що вже перебуває в експлуатації.

19. Наведене вище, таким чином, визначає оптимальні напрями (пріоритети) і межі доцільного і можливого управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря дорожнім транспортом в України.

20. Також виявлено, що єдиним дійовим та доступним у практичній площині заходом із істотного покращення якості атмосферного повітря в містах є саме диференціація умов доступу транспорту до надмірно забруднених територій (впровадження екологічних зон, як це відбувається в країнах ЄС).

21. Наведене вище також обґрунтовує доцільність вирішення, зокрема, таких проблем:

1) отримання країною доступу до технологій та обладнання для визначення викидів забруднювальних речовин і споживання енергії дорожніми транспортними засобами відповідно до вимог міжнародних стандартів є не тільки важливою складовою, але й невід’ємною умовою запровадження технічних та пов’язаних з ними фіскальних заходів державного регулювання у цій сфері, чому присвячено 4-й розділ роботи;

2) розроблення системи державного регулювання істотних екологічних властивостей ДТЗ та їх диференційованого доступу до місць масового зосередження людей (5-й розділ роботи);

3) розроблення ефективної системи управління питомим споживанням енергії та, опосередковано, забрудненням атмосферного повітря в експлуатації (6-й розділ роботи);

4) приведення інвентаризації викидів парникових газів і токсичних речовин від дорожнього транспорту в Україні у відповідність з міжнародними вимогами (є важливим завданням, визначеним Мідовкілля на вимогу МГЕЗК в рамках Кіотського протоколу та Паризької угоди), у тому числі визначення національних значень вмісту вуглецю і нижчої теплоти згоряння моторних палив, що споживають на ринку, а також розвиток і впровадження технологій моніторингу та прогнозування стану атмосферного повітря з врахуванням, зокрема, метеорологічних умов (7-й розділ роботи).

РОЗДІЛ 4.
РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ, ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА РОЗРАХУНКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ПИТОМИХ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ДОРОЖНІМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

4.1. Стандарти і технічні регламентів у сфері методів визначення та унормування ефективності використання енергії та викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами

Стислий огляд стандартів і технічних регламентів у сфері методів визначення та унормування ефективності використання енергії та викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами наведено у додатку А.3.

У цій роботі вперше в Україні розроблено технології та обладнання для проведення окремих видів випробувань транспортних засобів та їх двигунів відповідно до вимог Правил ООН №№ 49, 83, 24, 40, 47, 96, 101, 103, та Глобальних правил №№ 2, 4, 5, 10, 11, 15, проведення дорожніх випробувань ДТЗ із визначенням, зокрема, показників паливної економічності та опору руху, а також комплекс обладнання і технологій для проведення різноманітних порівняльних випробувань техніки, моторних палив та інших експлуатаційних матеріалів та наукових досліджень.

Методи експериментальних досліджень використання енергії та викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами визначено в наведених вище стандартах, та отримали подальший розвиток в цій роботі, як це описано нижче.

4.2. Створення в Україні на базі ДП «ДержавтотрансНДІпроект» національного науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій безпечного, екологічно сприятливого та енергоефективного автомобільного транспорту відповідно до міжнародних технічних регламентів

Розроблення технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами та в цілому роботи із отримання принципово нових можливостей з проведення в Україні випробувань і дослідження у сфері енергетики і екології транспорту здійснювалося в рамках проєкту створення науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій безпечного, екологічно сприятливого та енергоефективного автомобільного транспорту, метою якого є підвищення безпечності та енергоефективності ДТЗ, зменшення шкідливого впливу автомобільного транспорту на довкілля і здоров’я людей. Проєкт було висвітлено, зокрема в [345 – 347], та з огляду на приклад, зокрема, Національного інститут стандартів і технологій США [348].

Останні 20 років автором здійснювалися систематичні заходи та прикладалися зусилля з ініціювання на різних рівнях розгляду питання практичної реалізації цього масштабного проєкту, що потребує залучення відповідних інвестицій. Стислий опис цього проєкту надано у додатку А.4.

4.3. Розроблена універсальна система аналізу емісії частинок моделі «МТ-010» з мікротунелем у складі

Для визначення емісії частинок з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння використовуються повно-потокові (рис. 4.1) і частково-потокові системи (один з варіантів показаний на рис. 4.2).

Рисунок 4.1 – Принцип роботи повно-потокового тунелю для визначення масових викидів частинок [349 – 351]

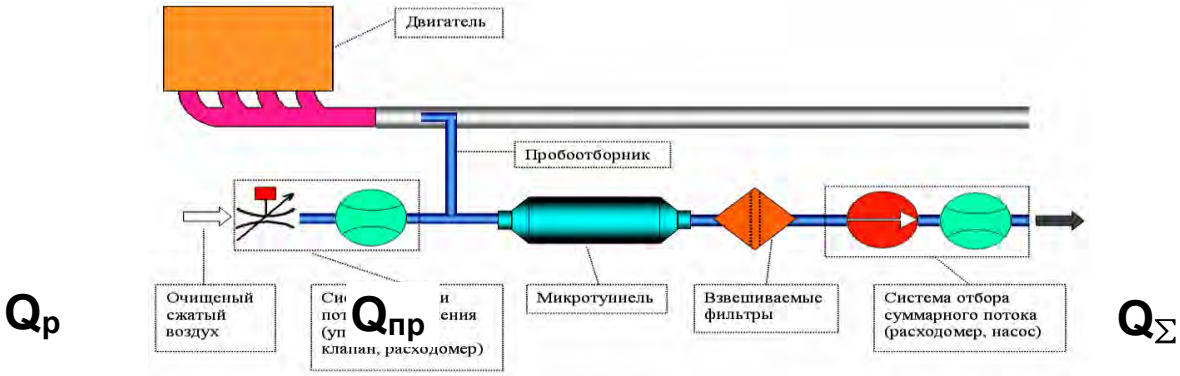


Рисунок 4.2 – Спрощена принципова схема одного з варіантів частково-потокової системи для визначення масових викидів частинок [349 – 351]

Як відомо, в останніх здійснюється відбір і розведення частини ОГ, що істотно здешевлює як первинну вартість, так і витрати на експлуатацію обладнання. Показаний на рис. 4.2 варіант частково-потокової системи (з виміром потоків і повним відбором розбавленої проби на фільтри) є найбільш поширеним на сьогоднішній день в силу гнучкості його застосування і інших переваг. Витрата проби ОГ (Qпр) визначається як різниця між витратою сумарного потоку розведених ОГ (QΣ) і витратою потоку розбавлення ВГ повітрям (Qр).

$$Q_{пр} = Q_\Sigma - Q_р.$$

Однак, використання розглянутого варіанту частково-потокових систем розведення при випробуванні сучасних автомобільних двигунів в транзієнтних циклах ускладнено, наприклад, такий основною проблемою як необхідністю безперервного швидкозмінного розведення проби ОГ в розширеному динамічному діапазоні за умови диференціального (опосередкованого) вимірювання потоку проби з дуже високою точністю.

Проблему диференціального вимірювання потоку проби можна проілюструвати такими прикладами. Помилка вимірювання витрати сумарного потоку і потоку розбавлення всього в ± 1% при коефіцієнті розбавлення проби 1:20 вже приведе до абсолютно неприйнятної помилки визначення потоку проби в ± 28%, і ± 71% при коефіцієнті розбавлення проби 1:50. Навіть застосування ультра точних витратомірів з абсолютною похибкою вимірювання витрат в межах ± 0,2%, при коефіцієнті розбавлення проби 1:50, дає, без застосування спеціальних заходів, похибки вимірювання потоку проби також неприйнятному рівні в ± 14%. Як відомо, згідно з Правилами ЄЕК ООН №49-05, максимально допустима помилка потоку проби не повинна перевищувати ± 5% (при одночасному виконанні ряду інших вимог) і ± 4% в більш ранніх редакціях Правил [349 – 351].

Практичне розв'язання задачі безперервного розведення проби ОГ в розширеному динамічному діапазоні (до коефіцієнта розведення проби в 1:50) з прийнятною і гарантованою точністю вимагає відносної точності динамічного вимірювання (і завдання) сумарного потоку і потоку розбавлення на рівні сотих часток відсотка від виміряного значення, і з урахуванням мінливого в реальних умовах роботи хімічного складу і температури газів, це є значною проблемою [349 – 351].

Автором було розроблено у ДП «ДержавтотрансНДІпроект» систему частково-поточного розведення ОГ для визначення емісії частинок (універсальна система аналізу емісії частинок моделі "МТ-010"), в конструкції якої закладені оригінальні технічні рішення вищенаведеної проблеми і інших

проблем, і, яка, по меншій мірі, не поступається за основними характеристиками кращим, відомим на сьогодні світовим аналогам [349 – 351].

Розроблена система відповідає за конструкцією вимогам Правил ООН 49 та № 96 останніх серій поправок для варіанту «Partial flow dilution system with flow control and total sampling» (частково-поточного розведення з контролем потоків і відбором сумарного потоку розбавлених ОГ). Конструкція системи також відповідає стандартній і загальноприйнятій схеми подвійного розведення ВГ (Double dilution system) при роботі в складі CVS відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН № 49 та № 96, тобто, система може використовуватися як самостійно, так і в складі системи CVS.

Система складається з стенду мікротуннеля, на якому розташована система перемикання потоку розбавленої проби, і шафи управління (рис. 4.3 і рис. 4.4).

Для досягнення високих метрологічних характеристик в системі застосовано наступні технічні рішення: використання подвійного вимірювання потоків за допомогою комбінації масових витратомірів і швидкодіючих об'ємних витратомірів з урахуванням динамічної зміни хімічного складу газів [349 – 351];

- ультра точна (в межах ± 0,01 ºС) термостабілізація корпусів витратомірів і потоків газів, що проходять через витратоміри, шляхом застосування масивної системи рідинної термостабілізації з використанням ефективних теплообмінних апаратів з високим співвідношенням теплопередачі до внутрішнього об'єму;

- використання цифрових алгоритмів лінеаризації і компенсації гістерезису в первинних перетворювачах фізичних величин;

- використання спеціальної процедури відносного калібрування витратомірів;

- використання системи швидкодіючих клапанів, а також спеціальних алгоритмів управління потоками;

- використання попереднього запису у пам'яті ПК кривої витрати ОГ в режимах транзієнтних циклів і використання упереджувального алгоритму управління потоками;

- інші рішення.

Сумарний потік розбавлених ОГ (Q_Σ) направляється на фільтри уловлювання частинок, встановлені в утримувачі. Спеціальна система перемикання потоку розбавленої проби спрямовує її на фільтри для вловлювання частинок на певний період часу.

Система перемикання потоків має оригінальну конструкцію, яка виключає утворення депозитів частинок і мінімізує час перехідних процесів в момент перемикання. Схема системи подачі проби на фільтри показана на рис. 4.5, фотографія стенду з мікротуннелем - на рис. 4.6.

Використання (як це показано на схемі) кульового триходового клапана ШК має своєю перевагою практичне виключення формування тимчасових депозитів частинок, а також мінімізує їх втрати при транспортуванні до уловлює фільтрам. Разом з тим, триходовий кульовий клапан (за відсутності системи компенсації) в процесі перемикання перекриває на невеликий час загальний потік, приводячи до деякої помилку його завдання в процесі стабілізації (в перехідному режимі). Помилка, викликана несталим режимом загального потоку, може мати істотний вплив на точність вимірювань з малим загальним часом відбирання проби, як це передбачено чинними стандартами.

Ця проблема була вирішена шляхом введення додаткової обхідного клапана К2, який, в строго певний момент часу відкривається на певну величину на частку секунди, забезпечуючи таким чином сталість загального опору потоку в момент перемикання кульового клапана.

Основний обхідний клапан К3 також виконує функцію регульованого дроселя, створюючи розрядження, ідентичне розрядці, створюваного

фільтрами уловлювання частинок в останній цикл вимірювання. Таким чином, задана величина потоку на фільтрах встановлюється практично миттєво до моменту перемикання кульового клапана на режим вимірювання.

Система управління потоком розбавляють повітря складається з двох паралельно встановлених регульованих швидкодіючих клапанів: основного, що регулює основну частину потоку, і додаткового, швидко і точно відпрацьовує динамічні зміни в завданні потоку.

Рисунок 4.3 – Загальний вигляд “МТ-010”. Рисунок 4.4. Шафа управління. [349 – 351]

Система має наступні характеристики [349 – 351]:

- діапазон завдання сумарного потоку розбавлених ОГ (Q_{Σ}): 22,6 ... 51,6 л / хв. (відповідає стандартному діапазону розрахункової лінійної швидкості потоку через фільтри діаметром 47 мм);

- атестоване значення абсолютної помилки визначення / завдання (Q_{Σ}) становить ± 1,5% (фактично помилка не перевищує ± 1,0%) від виміряного значення в повному робочому діапазоні 11,3 ... 51,6 л / хв;

- діапазон завдання потоку розбавлення ВГ повітрям (Qp): 22,6 ... 51,6 л / хв;

- динамічний діапазон завдання коефіцієнта розведення проби: 2 ... 50;

- атестоване значення абсолютної помилки визначення витрати проби ОГ ($Q_{пр}$) становить ± 2,5% від виміряного значення в усьому динамічному діапазоні від 1:2 до 1:50, що істотно розширює можливості розробленої системи при дослідженні емісії частинок двигунами. На практиці така точність диференціального вимірювання / завдання потоку проби означає досягнення відносної точності завдання сумарного і розбавляють потоків на рівні ± 0,035% і краще;

- час встановлення потоку проби (t90) не перевищує 250 мсек.

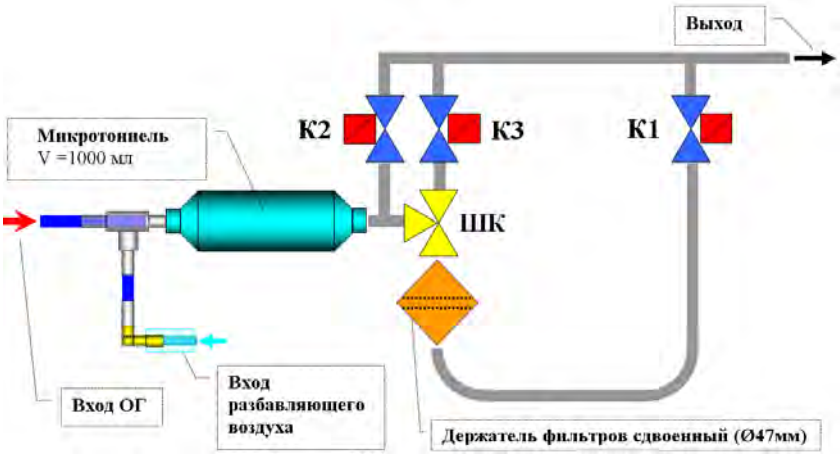


Рисунок 4.5 – Спрощена принципова схема системи подачі проби на фільтри [349 – 351]

В системі також передбачена можливість управління вологістю повітря на вході в тунель, так як цей фактор впливає на процес формування частинок в самому тунелі при охолодженні ОГ.

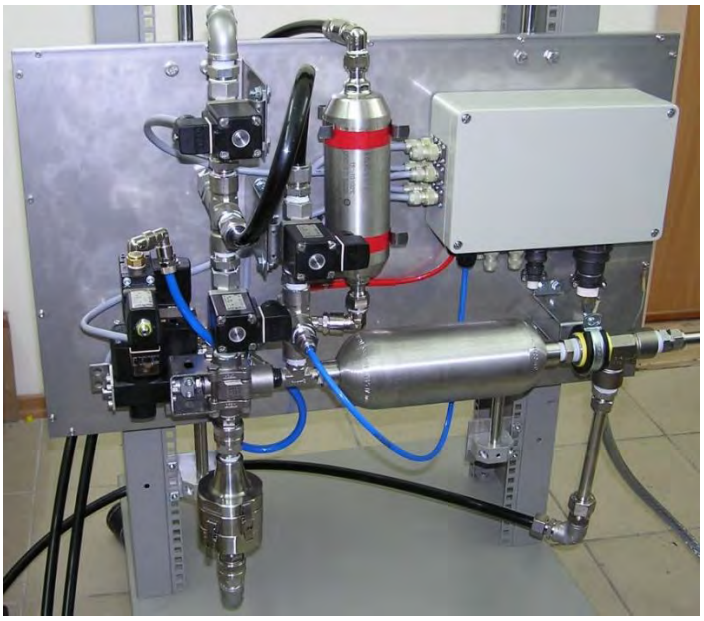


Рисунок 4.6. Зовнішній вигляд стенду з мікротунелем [349 – 351]

Рисунок 4.7. Дослідна система аналізу емісії частинок «МТ-010», підключена до випускної системи двигуна у моторному боксі [349 – 351]

Опис цієї розробки наведено автором також в [349 – 354]. Отримано 1 патент на винахід [352] (на новий метод) та 2 патенти на корисні моделі [353, 354]. Стислий опис запатентованого способу диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потокових системах визначення викидів частинок з автокалібруванням за складом відпрацьованих газів надано у додатку А.5.

4.4. Розроблена універсальна система відбору проб постійного об'єму для визначення масових викидів забруднюючих речовин (система CVS моделі «EMMS-CVS-010») із повно-потоковим тунелем

Обладнання для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів серійно виробляють всього декілька фірм. Сьогодні цей ринок у світі поділили переважно дві компанії - японська фірма HORIBA та австрійська фірма AVL. Висока вартість цього високотехнологічного обладнання робить його практично недоступним для більшості вітчизняних лабораторій. Вітчизняні автовиробники також не мають такого обладнання. Тому завдання створення конкурентоспроможного вітчизняного обладнання для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів є актуальним і важливим. Повно-потокова система відбору проб постійного об'єму для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів (CVS - Constant Volume Sampler system) є сьогодні обов‘язковою (безальтернативною) технологією для сертифікаційних випробувань продукції у ЄС та США при визначенні відповідності екологічним нормам КТЗ, що випробовуються у їздових циклах на моделюючих роликових стендах [355, 356].

Двигуни великовантажних автомобілів та автобусів випробовуються окремо на моторних стендах. Стандартами США та ЄС дозволяється використовувати замість громіздких і високовартісних повно-потокових систем частково-потокові системи (мікротунелі). Така вітчизняна частково-потокова система оригінальної конструкції моделі МТ-010 була раніше розроблена автором і створена в ДП «ДержавтотрансНДІпроект», та використовується у складі комплексу для випробовування двигунів лабораторії дослідження використання палив та екології [349-351].

Для випробовування КТЗ повною масою до 3,5 т в їздових циклах за стандартами ЄС (та до 4,5 т за стандартами США) існувала нагальна потреба лабораторії у повно-потоковій системі відбору проб постійного об'єму. Розроблена та виготовлена в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» система моделі EMMS-CVS-010 повністю відповідає вимогам екологічного блоку Правил ЄЕК ООН (Правила №№ 40, 47, 83, 101, 103 в частині вимог до КТЗ повною масою до 3,5 т, Правила №№ 49, 96 в частині вимог до двигунів великовантажних автомобілів та автобусів), а також відповідним директивам ЄС і стандартам США (технічним регламентам) [356].

Вітчизняна система може використовуватися як окремо для забезпечення вимірювання питомих масових викидів забруднюючих речовин КТЗ (легкові автомобілі, а також мопеди, мотоцикли і легкий комерційний транспорт) у їздових циклах та двигунів великовантажних автомобілів і автобусів у відповідних тестових процедурах (стаціонарних та транзієнтних циклах), так і сумісно з вітчизняною частково-потоковою системою моделі МТ-010 (у концепції подвійного розбавляння ВГ) для випробовування двигунів особливо великої потужності [356].

Систему EMMS-CVS-010 було встановлено у Лабораторії дослідження використання палив та екології (нова назва з 2020 р. – «Науково-виробнича лабораторія енергетики та екології транспорту») і використовують у складі з сучасним 48-дюймовим роликовим моделюючим стендом моделі

RPL1220/12C23M17/APM150 фірми AVL, газоаналітичним комплексом моделі MEXA-7400DEGR фірми HORIBA та іншим високотехнологічним обладнанням. Система пройшла державну метрологічну атестацію та використовується для проведення різноманітних випробовувань продукції, в першу чергу сертифікаційних та доводочних випробовувань КТЗ, дослідження використання альтернативних моторних палив, створення нових зразків техніки тощо.

На відміну від закордонних аналогів систем, кожна модель яких призначена для вирішення певного завдання у відносно вузькому діапазоні витрат відпрацьованих газів (ВГ) та потоків розчинених ВГ, вітчизняна система дозволяє проводити вимірювання у розширеному діапазоні - від мопедів до вантажівок і має інші специфічні особливості та технологічні можливості, описані нижче та в [356].

Спрощений опис принципу роботи та принципових недоліків самої концепції «класичної» системи CVS

Концепцію повно-потокової системи відбору проб постійного об'єму для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами (системи CVS) було вперше реалізовано та запроваджено у технічних регламентах США (які вперше запровадили технічне регулювання викидів від КТЗ). У загальному вигляді питомі масові викиди газоподібних забруднюючих речовин визначають за їх концентрацію у відпрацьованих газах (ВГ) та витратою ВГ, віднесених до корисної роботи двигуна (у г/кВт×год) або пробігу автомобіля (у г/км або у г/цикл за ранніми стандартами).

Але при випробовуванні автомобілів за їздовими циклами на роликових стендах (або двигунів на моторних стендах за транзієнтними циклами) витрата відпрацьованих газів змінюється дуже швидко. Завдання швидкого безперервного вимірювання повного потоку нерозбавлених ВГ та концентрацій забруднюючих речовин в них є досить технологічно складним з

огляду на обмежену швидкодію витратомірів та, в першу чергу, обмежену швидкодію аналізаторів та газоаналітичних систем в цілому (що містять, окрім детекторів певних компонентів у ВГ, системи попередньої підготовки проби, які мають певний об‘єм, та, відповідно, певний час транспортування проби ВГ через них) [356].

У концепції повно-потокової системи відбору проб постійного об'єму повний потік ВГ розбавляється чистим повітрям та перемішується з ним. При цьому витрата цієї суміші залишається постійною протягом всієї процедури випробовування. При збільшенні потоку ВГ (під час збільшення навантаження двигуна або зміни швидкісного режиму його роботи) відповідно зменшується витрата чистого повітря і навпаки. За постійною і відомою витратою суміші повного потоку ВГ і чистого повітря та середніми значеннями концентрацій газоподібних компонентів в цієї суміші розраховуються їх масові викиди.

Для визначення викидів частинок (PM) з ВГ двигунів є важливим процес продовження їх утворення під час розсіювання компонентів ВГ в атмосферному повітрі та охолодження. Тому системи CVS, призначені для випробовування автомобілів з дизелями або випробовування дизелів, призначених для встановлення на великовантажні автомобілі та автобуси, містять так званий повно-потоковий тунель, що імітує вищезгадані процеси. Однією з вимог є температура суміші ВГ і повітря, яка не повинна перевищувати 52 ºС на фільтрах уловлювання частинок, а також однорідність (гомогенність) суміші ВГ і повітря у точці відбору проби, яка забезпечується відповідними умовами потоку в тунелі [356].

За рахунок розбавлення ВГ достатньої кількістю повітря забезпечується виконання умови відсутності конденсації водяних парів під час їх охолодження. Особливо актуально це при випробовуванні автомобілів з двигунами, що працюють на таких альтернативних видах моторних палив як біопалива.

Для визначення відповідності міжнародним екологічним вимогам (відомі як вимоги рівнів "Євро-0" - "Євро-6" в ЄС) колісні транспортні засоби повною масою до 3,5 т встановлюються на роликовий моделюючий стенд, що імітує опір руху та інерційну масу автомобіля при русі на дорозі. На стенді автомобіль їде за визначеним випробувальним циклом (послідовністю режимів руху) з одночасним відбором повного потоку ВГ до системи CVS.

На рис. 4.8 показано графіки руху автомобіля за європейським їздовим циклом та зміни концентрацій окремих компонентів ВГ у суміші ВГ та повітря, отриманих за допомогою системи EMMS-CVS-010.

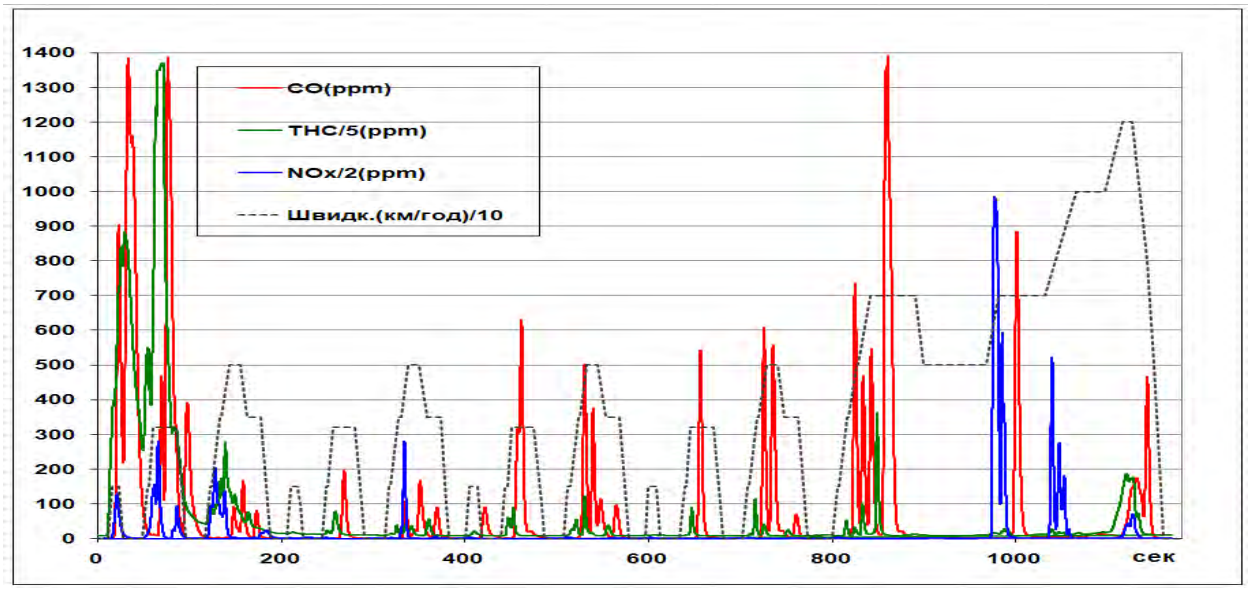


Рисунок 4.8 – Типовий характер зміни концентрацій окремих компонентів ВГ у суміші ВГ та повітря при випробовуванні автомобіля за європейським їздовим циклом [355]

Для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин відпрацьовані гази (ВГ) із випускної системи КТЗ на протязі всього випробувального циклу розбавляють повітрям і відбирають проби розбавлених ВГ. Паралельно здійснюється відбір повітря (яким здійснюється розбавляння повного потоку ВГ) в мішки.

Для автомобілів, обладнаних двигунами з примусовим запалюванням, розбавлену пробу ВГ відбирають порціями у спеціальні тедларові мішки.

Для автомобілів з дизелями здійснюють безперервне (інтегрально у потоці) вимірювання концентрацій сумарних вуглеводів T.HC (в США також оксидів азоту (NO_x) та інших компонентів залежно від виду палива). Концентрації інших газоподібних компонентів у складі ВГ автомобілів з дизелями вимірюють зазвичай таким же самим чином (інтегрально) або відбором у тедларові мішки.

Для визначення масових викидів частинок (Particulate Matter - (PM)) пробу розчинених ВГ з температурою не вище за 52 ºС прокачують через спеціальні фільтри-уловлювачі частинок.

Для автомобілів з дизелями та автомобілів, обладнаних двигунами з примусовим запалюванням з безпосереднім впорскуванням палива у циліндри, відповідно до сучасних стандартів також здійснюється відбір проби ВГ на спеціальне аналітичне обладнання (лічильник частинок) для визначення кількості частинок у ВГ (додатково до вимірювання їх масових викидів).

Після завершення випробувального циклу вимірюється концентрація газоподібних забруднюючих речовин (T.HC, NMHC, NO_x, CO, CO_2, та інших компонентів) у мішках з розбавленими ВГ (або інтегрально визначається за результатами безпосереднього безперервного вимірювання у потоці проби розчинених ВГ) та у мішках з повітрям і за різницею концентрацій та з урахуванням пройденого на стенді шляху або виконаної двигуном корисної роботи здійснюється розрахунок питомих масових викидів газоподібних забруднюючих речовин у грамах на кілометр або у грамах на один квт×год. корисної роботи.

Масові викиди частинок (PM) визначають за зміною маси двох послідовно встановлених фільтрів уловлювання частинок та за співвідношенням витрати повного потоку розчинених ВГ та витрати потоку проби ВГ, що прокачується через зазначені фільтри-уловлювачі.

Передбачені технічними регламентами ЄС і США та наявні на ринку системи мають недоліки, зокрема, вузький діапазон завдання потоку та/або дискретність завдання.

Вузький діапазон завдання потоку призводить до того, що необхідно мати кілька систем CVS для випробовувань різних типів КТЗ. Для випробовувань мопедів, мотоциклів, автомобілів з низьким рівнем емісії забруднюючих речовин необхідні низькі значення потоку CVS, а для вантажівок та автомобілів що працюють на альтернативних видах палива – високі значення потоку. Дискретність завдання потоку систем з соплами Вентурі не завжди дозволяє підібрати оптимальний коефіцієнт розбавлення для випробовування кожного транспортного засобу, в той час як системи з попередньо відкаліброваним роторним насосом Рутса уступають ним з точки зору стабільності та відтворюваності результатів вимірювання.

Представлені на світовому ринку системи CVS, що використовують для сертифікації продукції автомобілебудування, містять громіздкі, дорогі та енергоємні елементи відбору та кондиціювання повного потоку суміші ВГ і повітря та мають високу загальну вартість.

З запровадженням все більш жорстких екологічних вимог на перший план виходить важливе принципове обмеження самої концепції методу відбору проб постійного об‘єму.

Мінімально можливу (виходячи з умов відсутності конденсації парів води та максимально допустимої температури потоку на вході у фільтри уловлювання частинок) і постійну протягом всієї випробувальної процедури швидкість потоку суміші ВГ і повітря та, відповідно, мінімальний коефіцієнт розбавлення проби встановлюють виходячи з найбільш напруженого режиму випробувальної процедури, за якого швидкість потоку ВГ максимальна та мають місце високі концентрації забруднюючих речовин у ВГ. Таким чином, на найбільш напруженому режимі випробувальної процедури (коли має місце мінімальний коефіцієнт розбавлення проби) концентрації багатьох

забруднюючих речовин у нерозбавлених (сирих) ВГ та у пробі суміші ВГ та повітря є високими та не існує проблем з їх вимірюванням. Але, при зменшенні навантаження двигуна і зменшенні витрати ВГ, збільшується (за постійної витрати суміші ВГ і повітря) коефіцієнт розбавлення проби і, відповідно, зменшуються концентрації компонентів ВГ у пробі суміші ВГ і повітря (при цьому на режимах часткових навантажень концентрації окремих компонентів ВГ навіть у нерозбавлених (сирих) ВГ можуть бути дуже низькими). Для автомобілів, які відповідають сучасним екологічним вимогам ЄС і США, після швидкого прогріву каталітичного нейтралізатора подальше вимірювання багатьох забруднюючих речовин у класичній системі CVS вже є практично неможливим. Концентрації окремих шкідливих речовин у розбавлених ВГ можуть бути порівняними (в межах похибки вимірювання газоаналітичного обладнання) або, в окремих випадках за окремими компонентами ВГ, навіть нижчими, ніж їх концентрації у повітрі на вході в систему. Більшість шкідливих викидів, таким чином, вимірюється протягом першої фази виконання циклу (під час прогрівання активної поверхні каталізатору (каталізаторів) та датчиків вільного кисню у ВГ).

Таким чином, сама концепція системи відбору проб постійного об'єму для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів (CVS - Constant Volume Sampler system) має принциповий недолік, який доцільно вирішувати вже починаючи з норм викидів рівня «Євро-4», та який безперечно має бути усунений задля встановлення більш прогресивних екологічних вимог до КТЗ.

Конструкція вітчизняної системи CVS моделі EMMS-CVS-010

Було вирішено створити вітчизняну систему CVS, яка б не мала вказаних недоліків, коштувала значно дешевше наявного на світовому ринку «фірмового» обладнання, мала широкі функціональні можливості порівняно зі стандартними серійними системами, та забезпечила можливості подальшого вдосконалення самої технології повно-потокових систем

визначення масових викидів забруднюючих речовин (тобто мала широкі можливості системи дослідницького класу).

При проектуванні вітчизняної системи моделі EMMS-CVS-010 було вирішено відмовитись від традиційних, рекомендованих міжнародними технічними регламентами, схем систем CVS.

Вітчизняна система CVS моделі EMMS-CVS-010 має оригінальну конструкцію, яка повністю розроблена в Україні та не повторює відомі закордонні аналоги а ні за конструкцією, а ні за використаною елементною базою.

Замість набору сопел Вентурі у критичному режимі або об'ємного насосу система EMMS-CVS-010 використовує для завдання потоку суміші ВГ і повітря автоматично регульовані дросельний елемент і вакуумний насос з витратоміром потоку (рис. 4.9). При цьому завдання потоку суміші ВГ і повітря відбувається одночасним автоматичним регулюванням положення (площі перерізу) дросельного елемента та продуктивності вакуумного насосу (привод якого на базі асинхронної електричної машини керується через частотний перетворювач) і ступені розрідження. За даними витратоміра суміші, температури і тиску газів (у тому числі – безпосередньо на вході в систему CVS) керуючий комп‘ютер розраховує значення керуючих сигналів для підтримання постійного потоку через систему в умовах швидкої зміни тиску і температури ВГ на вході в систему. Подвійне регулювання потоку надає можливості його завдання у широкому діапазоні і, за необхідності, швидкої зміни.

Відбір проб газів здійснюється з завданням потоків у широких межах з використанням широко розповсюджених у промисловості стандартних масових витратомірів та систем управління потоками власної розробки. Це дозволяє оптимізувати режим наповнення пробами мішків або її прокачування через фільтри уловлювання частинок (PM) та виконувати автоматично динамічну компенсацію зміни повного потоку суміші ВГ і повітря.

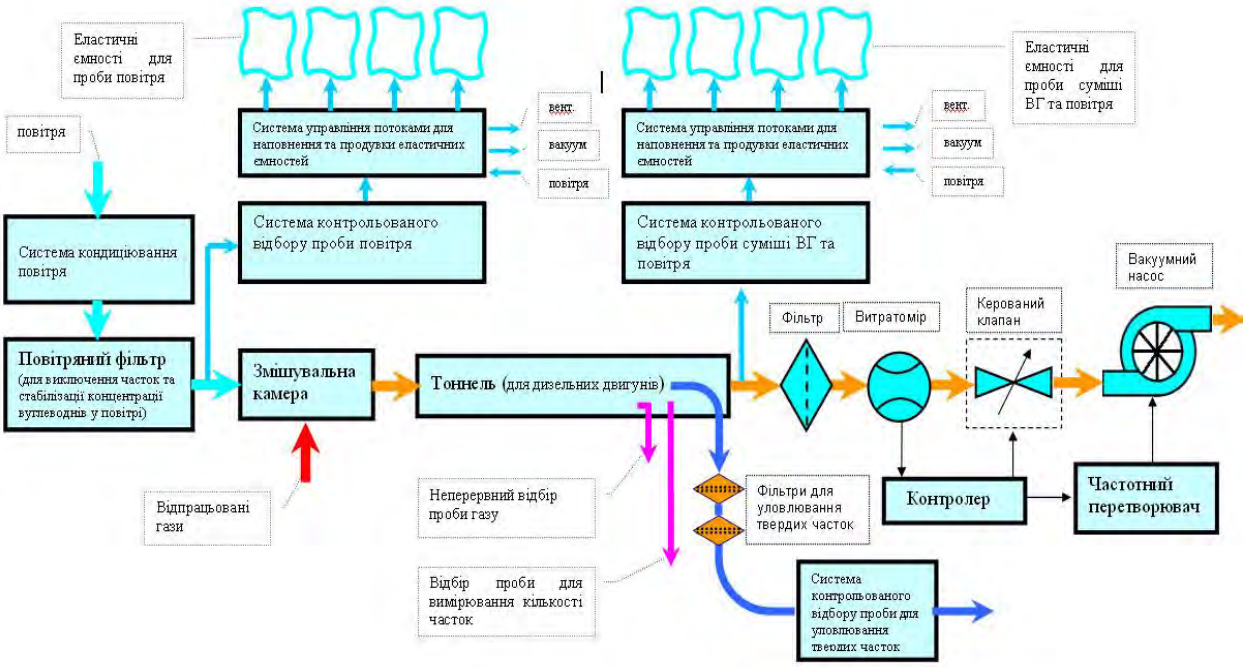


Рисунок 4.9 – Спрощена принципова схема завдання потоку суміші ВГ і повітря вітчизняної системи CVS моделі EMMS-CVS-010 [356]

Для вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у пробі суміші ВГ і повітря використовується потужний керований насос, який працює у двох режимах: режимі максимально швидкого потоку для мінімізації часу надходження проби до газоаналітичного комплексу у режимі безперервного (інтегрально у потоці) вимірювання і режимі аналізу проб, попередньо відібраних у мішки.

Лінії та елементи на шляху подачі проб до газоаналітичного обладнання термостатовані (підтримується температура 191 ºС).

Тедларові мішки для відбору проб разом з системою розподілення потоків розміщено у термостатованій шафі, де забезпечується рівномірний прогрів всього об‘єму завдяки циркуляції повітря.

Насоси відбору проб, витратоміри, фільтри та інші елементи також термостатовані і розміщені в окремій шафі, з підтриманням постійної температури всього об‘єму.

В окремій шафі також зібрані елементи завдання повного потоку через CVS. На її даху розміщений комбінований фільтр повного потоку.

Повно-потоковий основний та байпасний («малий») тунель разом із змішувачем основного тунелю, елементом розподілення потоків та іншими вузлами розміщені над шафами з обладнанням (3-D ескіз, що використовувався під час проектування показаний на рис. 4.10).

Змішувач байпасного («малого») тунелю зроблений пересувним і розташовується безпосередньо поряд із випускною системою КТЗ, що випробовується.

Всі елементи основного і байпасного тунелів розроблені ДП «ДержавтотрансНДІпроект» і виготовлені в Україні з нержавіючої сталі.

Необхідно забезпечити якісне перемішування ВГ із повітрям у змішувальній камері та забезпечити подалі такі умови сумарного потоку, щоб у точці відбори проби отримувати однорідну суміш. Для вирішення цієї задачі елементи системи було спроектовано та оптимізовано за допомогою сучасних САПР шляхом моделювання потоків газів.

Рисунок 4.10. 3-D ескіз (проектування у САПР) системи. Зліва-направо під основним і байпасним тунелями показано шафу з мішками, шафу з електронним і електротехнічним обладнанням, шафу відбору проб і повно-потоковий фільтр.

Таким чином, зокрема, було оптимізовано оригінальну конструкцію вузла змішувача ВГ і повітря (рис. 4.11), який працює у великому діапазоні швидкостей потоків та дозволяє отримати однорідну суміш ВГ і повітря у точці відбору проби у тунелі (рис. 4.12).

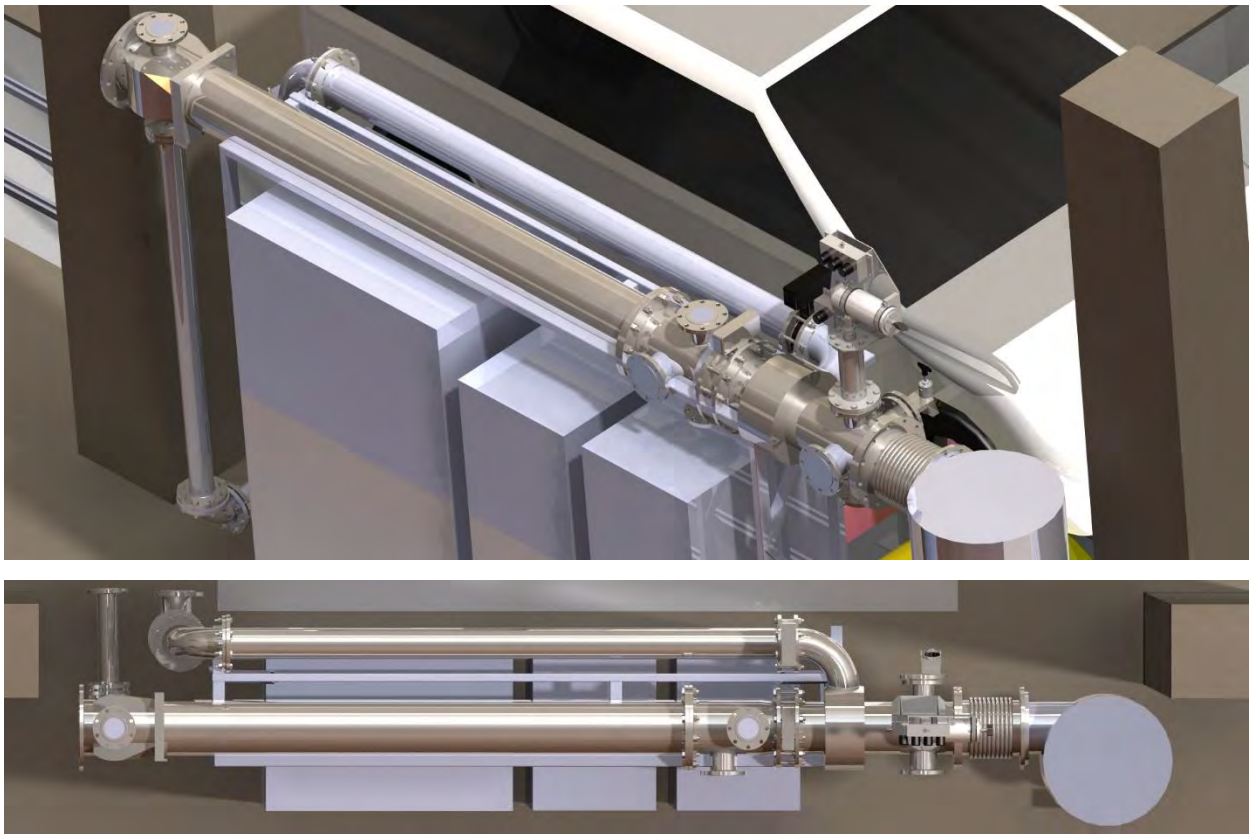


Рисунок 4.10 – 3-D ескіз (проектування у САПР) системи [356]

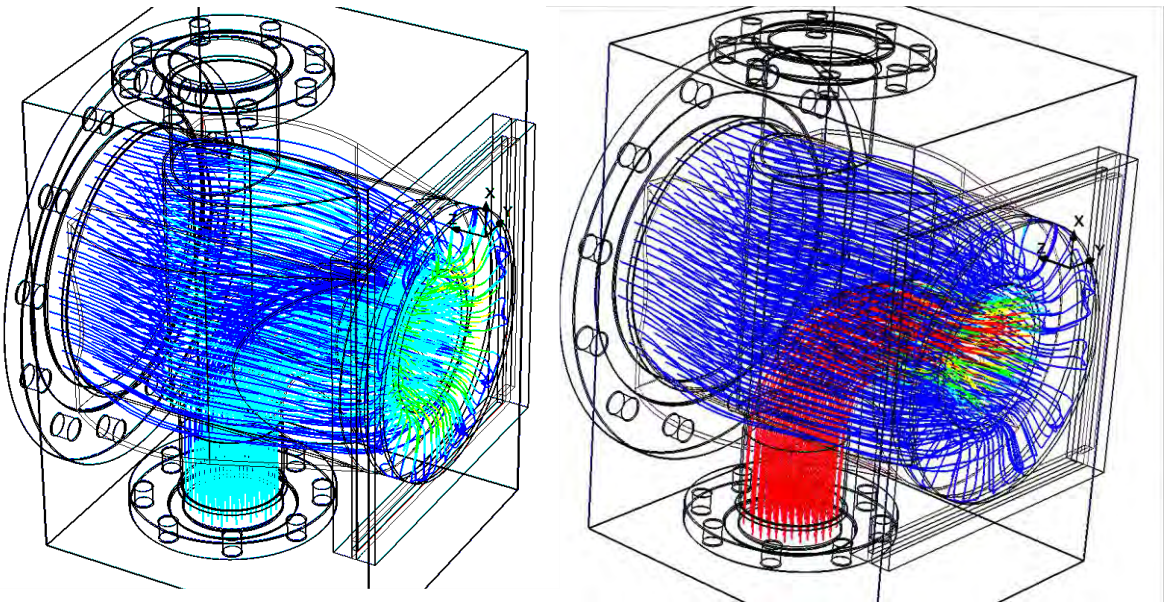


Рисунок 4.11 – 3-D приклад розрахунку швидкості і температури потоку ВГ, повітря та їх суміші у змішувачі перед входом в повно-потоковий тунель [356]

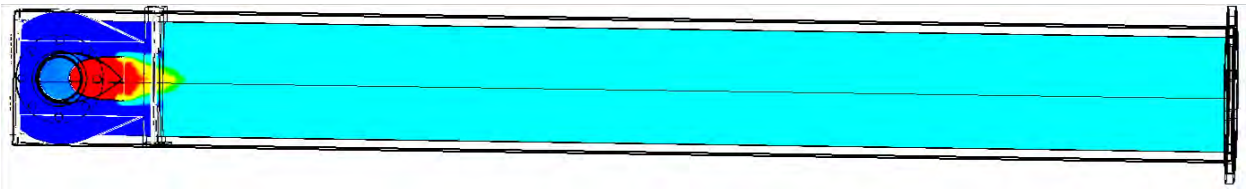


Рисунок 4.12 – Приклад розрахунку розподілу концентрацій одного із компонентів ВГ (за CO_2) у потоці суміші ВГ і повітря в вузлі-змішувачі та у тунелі CVS [356]

Змішувач має у складі оригінальний пристрій для встановлення змінних дросельних шайб (10 пластин з отворами різних діаметрів), що дозволяє отримати найбільш оптимальні умови під кожне завдання.

З використанням САПР було розроблено, наприклад, елемент, показаний на рис. 4.13, який дозволяє отримувати однорідний сумарний потік у перерізі точки відбору проби на мішки як при використанні байпасного («малого»), так і основного тунелю. Байпасний тунель використовується при випробовуванні автомобілів, обладнаних двигунами з примусовим запалюванням. У цьому разі основний повно-потоковий тунель виключається з роботи. Відокремлений вузол-змішувач розташовується якомога ближче до випускної системи двигуна у складі автомобіля та має ідентичну конструкцію з змішувачем, який розташовано безпосередньо на вході в основний тунель.

Замість нарощування кількості пар мішків відповідно до ускладнення та збільшення тривалості випробувальних процедур (їздових циклів) було розроблено оригінальну матрицю клапанів для циклічного розподілення потоків проби, виконання операцій відбору проби, її аналізу, багатократного вакуумування та продувки мішків, яка дозволяє розділити весь їздовий цикл на практично нескінченну кількість проб, користуючись всього 4-ма парами мішків (операції відбору проби у мішки з тунелю, аналізування проби у попередньо заповнених мішках, вакуумування і продувки відбуваються

одночасно за спеціальним алгоритмом, який розподіляє всі процеси у часі залежно від поточного завдання.

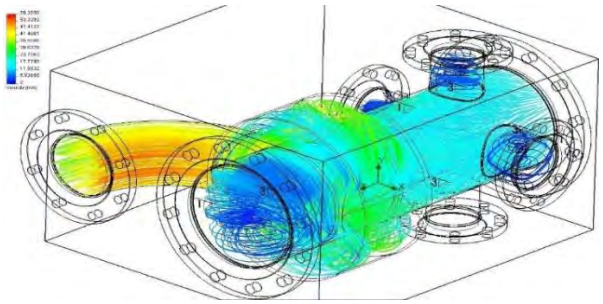


Рисунок 4.13 – 3-D приклад розрахунку швидкості потоку суміші ВГ і повітря у режимі роботи «малого» тунелю у вузлі відбору проби на мішки [356]

Принципову схему та фотографію матриці клапанів (показано основну частину з 32-х клапанів, об‘єднаних в один елемент) для розподілення потоків проби (встановлено у термостатовану шафу з тедларовими мішками) показано на рис. 4.14 і рис. 4.15 відповідно.

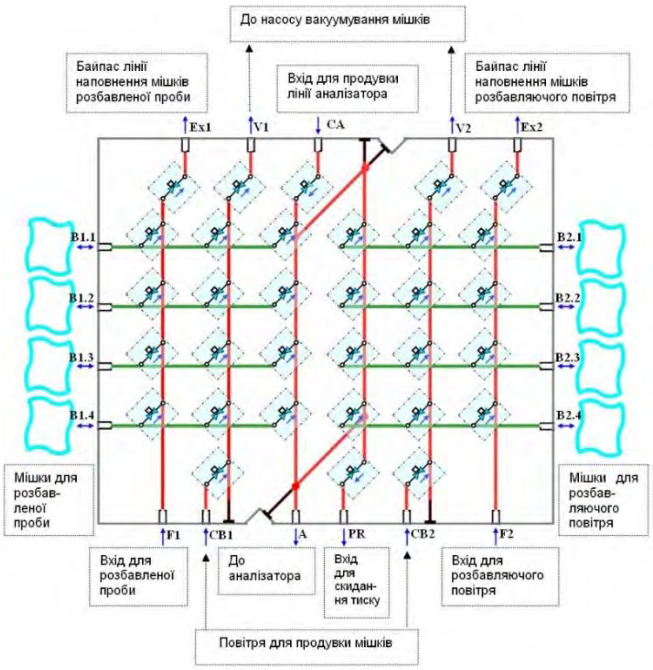


Рисунок 4.14 – Принципова оригінальна схема матриці клапанів для розподілення потоків проби [356] (отримано патент [357])

Вакуумний насос повного потоку та частотний перетворювач для управління його приводом розташовані окремо.

Для визначення викидів частинок на різних етапах випробувального циклу передбачена можливість використання декількох фільтрів. Була розроблена відповідна система розподілення потоків оригінальної конструкції (фото на рис. 4.16), яка мінімізує утворення депозитів частинок.

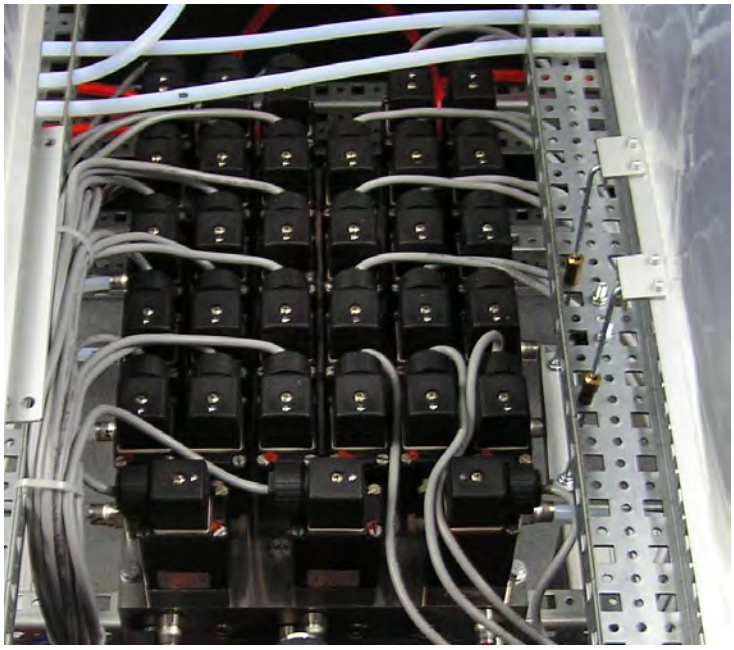


Рисунок 4.15 – Виготовлена в Німеччині на замовлення оригінальна матриця клапанів для розподілення потоків проби [356] (отримано патент [357])

Окрім забезпечення вимірювання масових викидів частинок система вже підготовлена до під‘єднання до неї лічильника частинок. Фото з загальним виглядом системи показано на рис. 4.17. На задньому плані видно автомобіль, встановлений на роликовий моделюючий стенд, та підключений до CVS. Основні елементи системи управління CVS зібрані в окремій шафі.

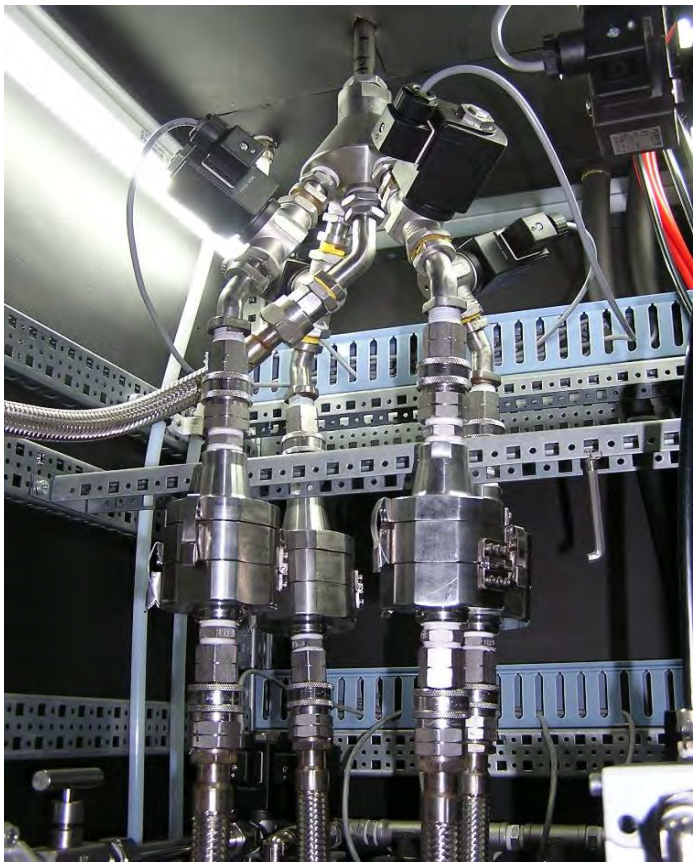


Рисунок 4.16 – Тримачі фільтрів для зважування часток, верхні клапани розподілення потоків та система розподілення потоків оригінальної конструкції [356]

Програмне забезпечення (ПЗ) для керування системою дозволяє працювати як в ручному, так і в автоматичному режимі. Крім того, в ПЗ включено функції управління та обміну даними із газоаналітичним комплексом моделі MEXA-7400DEGR японської фірми HORIBA та системою допомоги водієві у складі розробленого ДП «ДержавтотрансНДІпроект» раніше програмно-апаратного комплексу «Vehicle Performance Analysis System» (VPAS), який використовується для проведення стендових і дорожніх випробовувань двигунів та автомобілів і постійно вдосконалюється та розширює можливості. Комплекс VPAS у свою чергу з‘єднано з роликовим моделюючим стендом та комплексом іншого обладнання. Таким чином, система CVS інтегрована у комплекс обладнання ДП «ДержавтотрансНДІпроект» для випробовування КТЗ. Процеси відбору та

аналізу проби ВГ (у тому числі циклічне наповнення, відбір на аналіз, вакуумування, продувка мішків) майже повністю автоматизовані (управління відбувається натисненням однієї кнопки на екрані ПК керування CVS).

Проектування конструкції в цілому та її окремих елементів, збирання системи, її тестування і налагоджування та проведення верифікації здійснювали фахівці лабораторії дослідження використання палив та екології ДП «ДержавтотрансНДІпроект» під науковим керівництвом автора.

Опис конструкційних матеріалів, елементної бази, результатів верифікації системи, основних технічних характеристик системи та даних щодо її використання наведено у додатку А.6.

Рисунок 4.17 – Загальний вигляд основної частини елементів розробленої системи CVS моделі EMMS-CVS-010 [356]

Наведені вище результати цієї розробки опубліковано в [355, 356].

4.5. Розроблена перспективна технологія та система визначення масових викидів транспортних засобів з низьким рівнем емісії, якій надано назву «Variable Volume Sampling System»

Більш жорсткі стандарти на норми викидів, в свою чергу, потребують розроблення відповідних ним нових, більш чутливих методів визначення масових викидів забруднювальних речовин. Серед нормованих компонентів викидів з відпрацьованими газами (ВГ) двигунів внутрішнього згорання особливу увагу в країнах ЄС приділяють, зокрема, частинкам (PM) – одного з найбільш шкідливих компонентів у складі ВГ, оксидам азоту (NO_x), сумарним вуглеводням (T.HC) та їх неметанової частини (NMHC), оксиду вуглецю (CO), та іншим токсичним речовинам, що визначають стандартним методом відбору проб постійного об‘єму, який є обов’язковим для визначення викидів автомобілями в їздових циклах.

Принципово непереборним недоліком стандартного методу відбору проб постійного об‘єму є в цілому високі значення коефіцієнту розбавлення ВГ, що отримують на більшості режимів роботи двигуна у випробувальних, зокрема, їздових циклах. В цілому високі значення коефіцієнту розбавлення ВГ зумовлені необхідністю встановлювати постійне в часі значення витрати суміші ВГ і повітря, за умови відсутності конденсації вологи, для найбільш навантаженого режиму роботи двигуна (серед всієї сукупності режимів у випробувальному циклі). Через це концентрації окремих забруднювальних речовин (у першу чергу – вуглеводів) у розбавлених ВГ можуть бути порівняними з їх концентраціями в оточуючому повітрі. Це істотно ускладнює, а в окремих випадках в принципі робить неможливим, вимірювання викидів екологічно сприятливих автомобілів, що відповідають стандартам «Euro-6», «LEV-3», «Tier-3». Це також обмежує встановлення більш прогресивних норм викидів [355, 356].

Таким чином, актуальним завданням є пошук альтернативи стандартному

методу відбору проб постійного об‘єму, який накладає принципові обмеження на визначення низьких рівнів викидів.

У додатку А.7 надано опис розробленого у роботі нового динамічного методу відбору проб змінного об’єму для масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами.

Результати цієї розробки опубліковано в [355, 356, 358]. Отримано 1 патент на винахід [359] (на новий метод) та 4 патенти на корисні моделі [359 – 362].

4.6. Розроблена технологія для визначення масових викидів забруднювальних речовин безпосередньо на борту транспортного засобу в умовах реальної експлуатації

У додатку А.8 описано запатентований автором спосіб частково-потокового способу визначення масових питомих викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів, в якому для відокремлення від основного потоку газів їх частини з витратою, що є пропорційною витраті повного потоку відпрацьованих газі, використовують набір однакових паралельних трубок, в яких створюють однакові умови руху газів, з використанням однієї з цих трубок для пропорційного відведення частини потоку. В англомовних джерелах система, що його реалізує має назву «Multipipe flow-dividing dilution tunnel system».

Отримано 1 патент на винахід [363] (на новий метод) та 2 патенти на корисні моделі [364, 365].

4.7. Розроблена технологія визначення кількості, розподілу за розмірами та хімічного складу канцерогенних нано-частинок у складі відпрацьованих газів двигунів та у продуктах зносу шин і гальм транспортних засобів

Вдосконалення існуючих та розроблення нових способів визначення кількості зважених частинок у газовому середовищі, їх дисперсного складу, а також елементарного хімічного складу має значний науковий та практичний інтерес.

Одними із сфер, що потребують пошуку шляхів покращення ефективності відбору (вловлювання) проб та точності визначення кількості частинок з широким дисперсним складом, особливо ультрадисперсних частинок (наночастинок) розмірами від 1 до 100 нанометрів (нм), є [366, 367]:

1. Дослідження джерел та пошуку шляхів зменшення емісії та шкідливого впливу на здоров’я населення викидів в атмосферне повітря частинок:

1) з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів та іншої техніки і джерел викидів частинок у процесах спалювання палив;

2) з продуктами зношування пневматичних шин транспортних засобів та дорожнього покриття;

3) з продуктами зношування гальмівних механізмів транспортних засобів;

4) з продуктами зношування інших різних агрегатів та механізмів, зокрема, у складі транспортних засобів;

5) від різноманітних технологічних процесів в металургійних, хімічних та у багатьох інших виробництвах, у сільському господарстві, видобувної та оброблювальної промисловості тощо.

2. Технологічні процеси отримання нових матеріалів на основі нанотехнологій.

3. Електронна промисловість.

4. Розроблення нерозбірних методів діагностування технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу деталей двигунів внутрішнього згоряння, матеріал яких в процесі зношування потрапляє у відпрацьовані гази, та деталей інших агрегатів і механізмів.

5. Визначення концентрацій вірусів в атмосферному повітрі та вивчення їх розповсюдження тощо.

Однією з галузей, де проблема визначення рахункової концентрації наночастинок особливо актуальна, є автомобілебудування.

Максимальна допустима питома кількість частинок у складі відпрацьованих газів на одиницю пробігу транспортного засобу або на одиницю корисної роботи двигуна унормована чинними міжнародними технічними регламентами – Правилами ООН № 83 і № 49 відповідно. Це пов‘язано з надзвичайно високим рівнем негативного впливу на здоров‘я населення викидів дрібнодисперсних частинок з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів.

Правила ООН № 83, № 49 регламентують для визначення кількості частинок метод, що ґрунтується на використанні так званого конденсаційного лічильника частинок (condensation particle counter), який є лічильником частинок, який виявляє оптичним методом і підраховує аерозольні частинки, спочатку збільшуючи їх (принаймні до розмірів, порівняних з довжиною хвилі світла), використовуючи частинки як центри зародження для створення крапель у перенасиченому газі. Цей метод дозволяє швидко отримувати результати аналізу безпосередньо в потоці проби газу (результати підрахунку кількості крапель, штучно створених на частинках, як центрах зародження), але він не дозволяє визначити дисперсний склад частинок (а це є важливим, оскільки дрібнодисперсні частинки є більш шкідливими для організму людини), та він передбачає низьку ефективність реєстрації частинок з розмірами менше 20 нм, що можуть складати або основну, або принаймні

значну частину від загальних викидів частинок сучасними двигунами внутрішнього згоряння (як дизелями, так і двигунів з примусовим запалюванням з безпосереднім впорскуванням бензину у камеру згоряння) [366, 367].

Таким чином, існує потреба в розробленні нових способів визначення кількості частинок у складі відпрацьованих газах двигунів та від інших джерел їх утворення, що потрапляють в атмосферне повітря.

У додатку 9 описано розроблений спосіб відбору з газового середовища проби частинок для визначення їх рахункової концентрації та дисперсного складу із застосуванням електронної мікроскопії

На даний час в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» здійснюється збирання та налаштування експериментальних установок, що реалізують запропонований спосіб відбору проб частинок з газового середовища, а також спосіб підготовки проби, описані в [366, 367], у тому числі – напилення надтонких шарів металів.

Створено дослідну установку для дослідження технології визначення кількості, розподілу за розмірами та хімічного складу особливо небезпечних канцерогенних нано-частинок у складі відпрацьованих газів двигунів та у продуктах зносу шин і гальм транспортних засобів, у складі:

- камери високого вакууму К120 (рис. 4.18) з вакуумним постом TPS-flexi Agilent Technologies (виготовлено: ВКФ «Sumy ELECTRON OPTICS» , Україна, за ескізами та спец. замовленням ДП «ДержавтотрансНДІпроект»);

- системи термічного випаровування металів для вакуумного напилення (рис. 4.18) (виготовлено: ВКФ «Sumy ELECTRON OPTICS», Україна, за спец. замовленням ДП «ДержавтотрансНДІпроект»);

- комплекту енергетичних джерел (рис. 4.19) для експериментальної іонної гармати для напилення тонких плівок металів у високому вакуумі (виготовлено: ВКФ «Sumy ELECTRON OPTICS», Україна, за спец. замовленням ДП «ДержавтотрансНДІпроект»);

- експериментальної іонної гармати (комплект деталей) (виготовлено: ВКФ «Sumy ELECTRON OPTICS», Україна, за ескізами та спец. замовленням ДП «ДержавтотрансНДІпроект»);

- аналітичної частини та високовольтних джерел живлення (рис. 4.19) приладу для відбору проби частинок з газового середовища у складі експериментальної установки (виготовлено: ВКФ «Sumy ELECTRON OPTICS», Україна, за ескізами та спец. замовленням ДП «ДержавтотрансНДІпроект»).

Рисунок 4.18 – Виготовлена на замовлення камера високого вакууму з іонною гарматою для підготовки поверхні для осадження частинок та зразків

Рисунок 4.19 – Виготовлені на замовлення високовольтні енергетичні джерела для пристрою захоплення частинок та іонної гармати.

На рис. 4.20 наведено приклади зображення частинок у складі розбавлених відпрацьованих газів автомобільного двигуна, отримане в СЕМ.

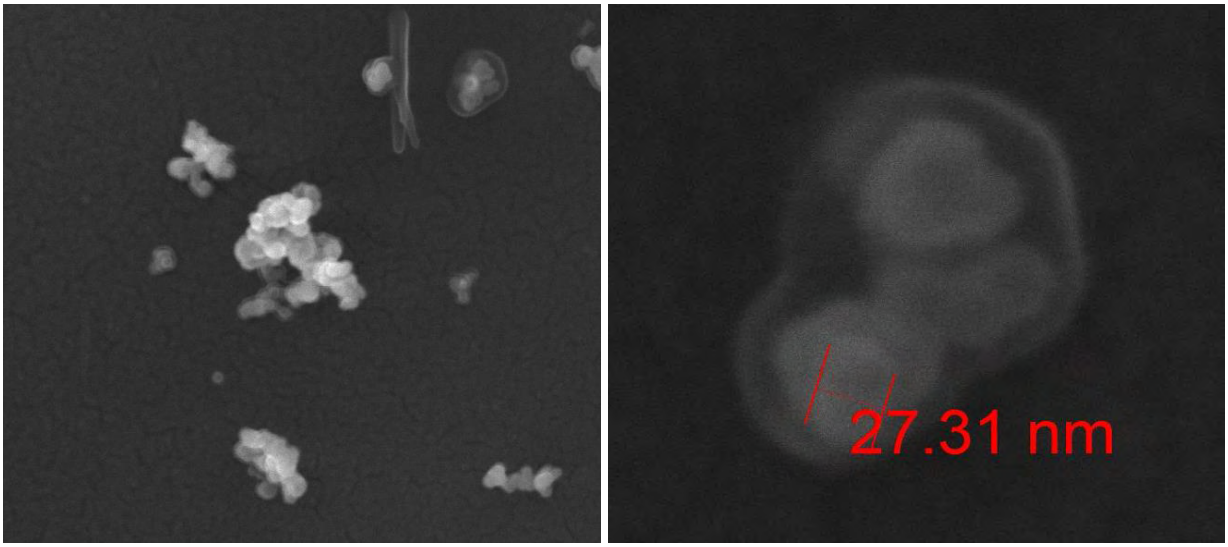


Рисунок 4.20 – Дослідження частинок у складі відпрацьованих газів двигунів методами електронної мікроскопії

Отримано 1 патент на винахід [366] (на новий метод) та 1 патент на корисну модель [367].

4.8. Розроблений програмно-апаратний комплекс «Vehicle Performance Analysis System», що є єдиною платформою для проведення випробувань транспортних засобів і двигунів, та поєднує в одній системі експериментальні та віртуальні (математичне моделювання) методи досліджень

Розроблена та постійно вдосконалюється програмно-апаратна платформа для функціонування екологічного випробувального центру – комплекс спеціалізованого програмного забезпечення та апаратних засобів під загальною назвою «Vehicle Performance Analysis System»,

Програмно-апаратний комплекс «Vehicle Performance Analysis System» розвивається як єдина платформа для проведення різноманітних стендових і дорожніх випробувань транспортних засобів і двигунів, що реалізує сучасну технологію аналізу експлуатаційних властивостей транспортних засобів та їх двигунів, яка поєднує в одній системі віртуальні (математичне моделювання) та експериментальні методи досліджень.

Комплекс спрямований на:

- оптимізацію конструкції автомобілів та двигунів методами математичного моделювання основних процесів, зменшення викидів шкідливих речовин з ВГ, прогнозування експлуатаційної витрати палива тощо;
- комплексну автоматизацію обробки даних вимірювань при проведенні стендових випробувань двигунів, стендових та дорожніх випробувань автомобілів;
- автоматичне керування випробувальним обладнанням – стендами для випробувань автомобілів і двигунів, газоаналітичним та різноманітним допоміжним обладнанням.

Окремо слід зазначити такі розробки, що виконано в рамках цього проекту, як:

- розробка спеціалізованого математичного програмного забезпечення «Data-Model Processing System»;
- розробка мікропроцесорних систем керування різноманітними об‘єктами та обробки даних вимірювань.

В основу «Vehicle Performance Analysis System» покладено новий комплексний підхід до аналізу експлуатаційних властивостей КТЗ та ДВЗ, що тісно поєднує в одній системі віртуальні (математичне моделювання) та експериментальні дослідження, ґрунтується на новітніх технологіях і включає відповідний математичний апарат, комплекс спеціалізованого комп`ютерного програмного забезпечення, вимірювального та випробувального обладнання,

систем збору та автоматизованого аналізу даних, систем керування випробувальним обладнанням та об’єктами випробувань.

Спрощене уявлення щодо структури «Vehicle Performance Analysis System» надано на рис. 4.21.

Всі основні види випробувань КТЗ та ДВЗ а також аналітичні дослідження виконуються в єдиному інтегрованому середовищі (рис. 2). Передбачено єдиний інтерфейс оператора для всіх видів випробувань та уніфікований спосіб представлення та зберігання даних вимірювань. Обробка результатів вимірювань виконуються як спеціалізованими засобами власної розробки так і загальновідомими стандартними програмними продуктами.

В «Vehicle Performance Analysis System» реалізовано концепцію розподіленої системи збору даних вимірювань і управління обладнанням: управління швидкоплинними процесами та первинна обробка даних вимірювань реалізовані на рівні мікропроцесорних систем (цифрових сигнальних процесорів), операції верхнього рівня (постановка завдання, візуалізація та зберігання інформації тощо) здійснюються на рівні персональних комп‘ютерів.

Деякі елементи комплексу «Vehicle Performance Analysis System» показані на рис. 4.22 – 4.26.

Модернізація стенда для випробувань двигунів дозволила реалізувати їх випробування за основними режимами транзієнтного циклу ETC, що надає можливість українським виробникам мінімізувати витрати часу і коштів на створення автомобільних двигунів з високими екологічними показниками, в тому числі що працюють на альтернативних видах палива.

Створено можливості (у тому числі спеціалізовані елементи комп‘ютерного програмного забезпечення з сучасним інтерфейсом користувача) для проведення дорожніх випробувань автомобілів за будь-якими їздовими циклами з метою визначення паливної економічності та інших показників. Зокрема, було змодельовані експлуатаційні характеристики в

їздових циклах та розроблено базові лінійні норми витрати палива на 155 модифікацій автомобілів виробництва «ЗАЗ» [368].

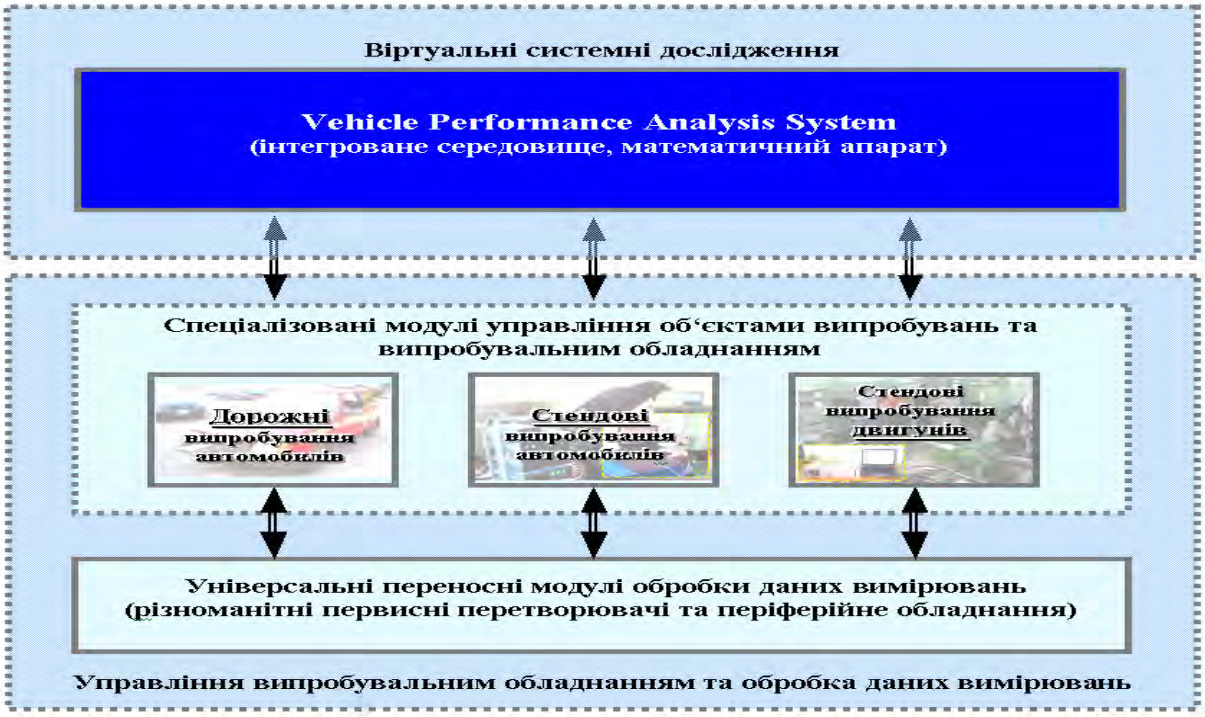


Рисунок 4.21 – Структура «Vehicle Performance Analysis System» (спрощене уявлення)

Рисунок 4.22 – Інтеграція окремих видів випробувань двигунів та автомобілів в єдиний автоматизований комплекс

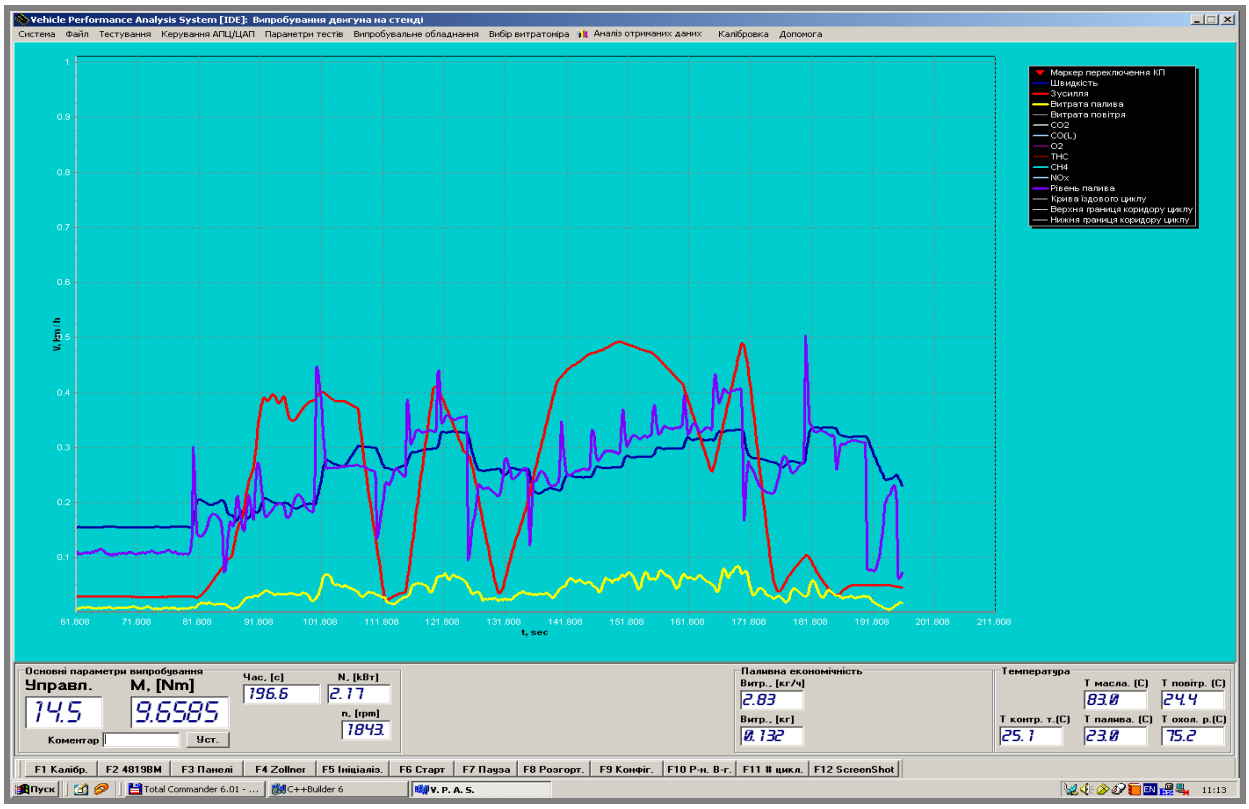


Рисунок 4.23 – Автоматизована обробка даних стендових випробувань ДВЗ

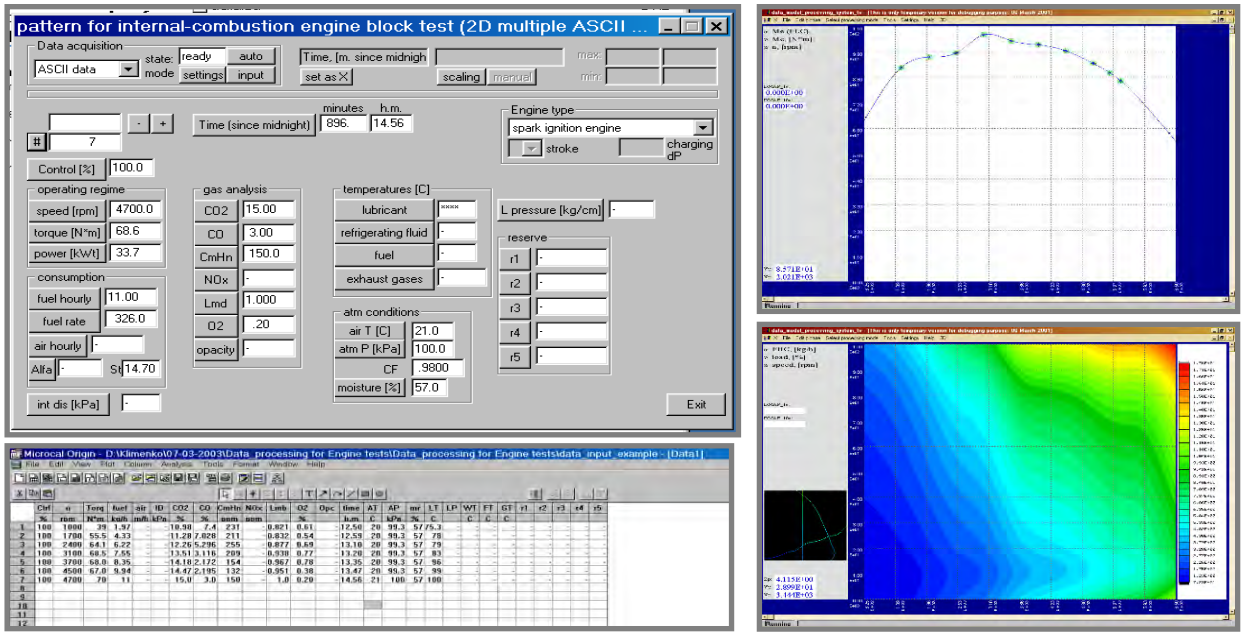


Рисунок 4.24 – Автоматизована обробка даних стендових випробувань ДВЗ в режимі “активного експерименту”

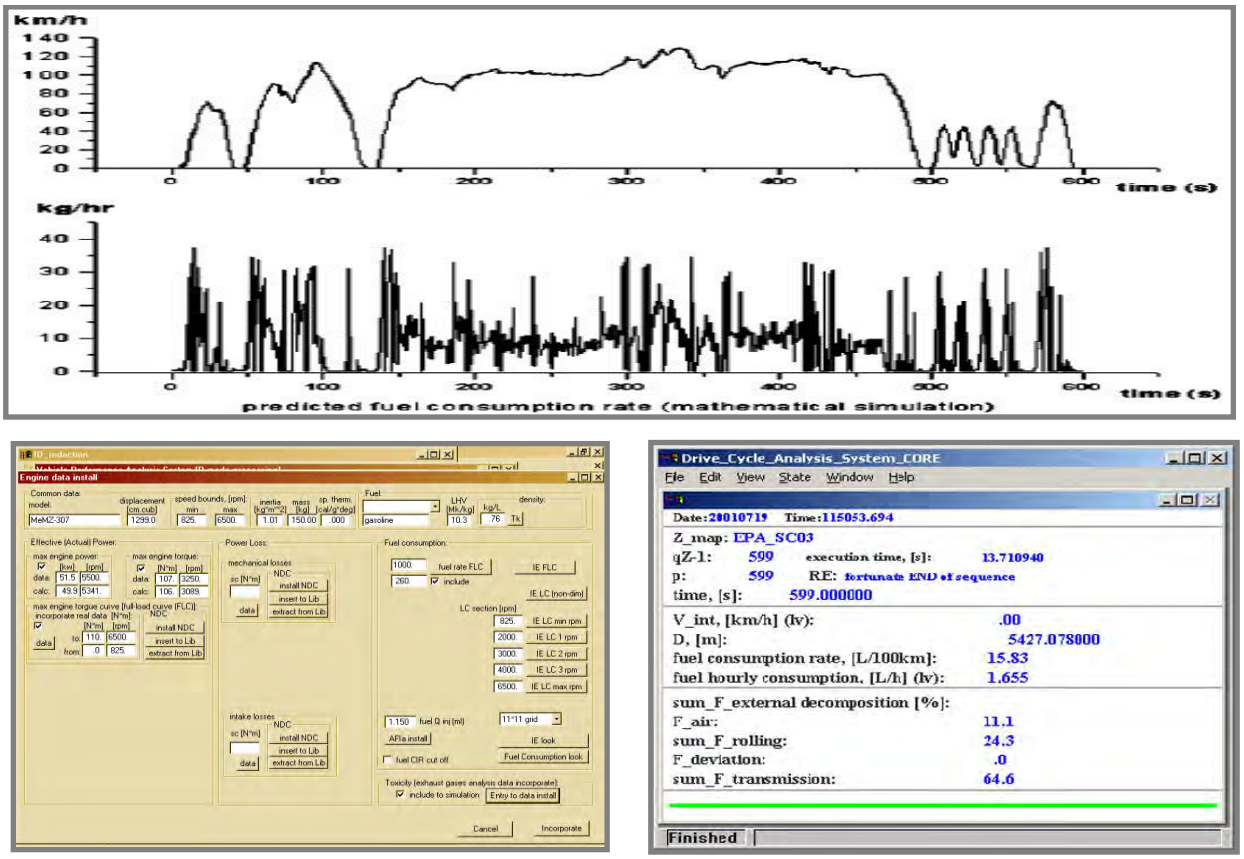


Рисунок 4.25 – Фрагменти інтерфейсу ПЗ «Vehicle Performance Analysis System» для оптимізації конструкції автомобілів і двигунів методами математичного моделювання

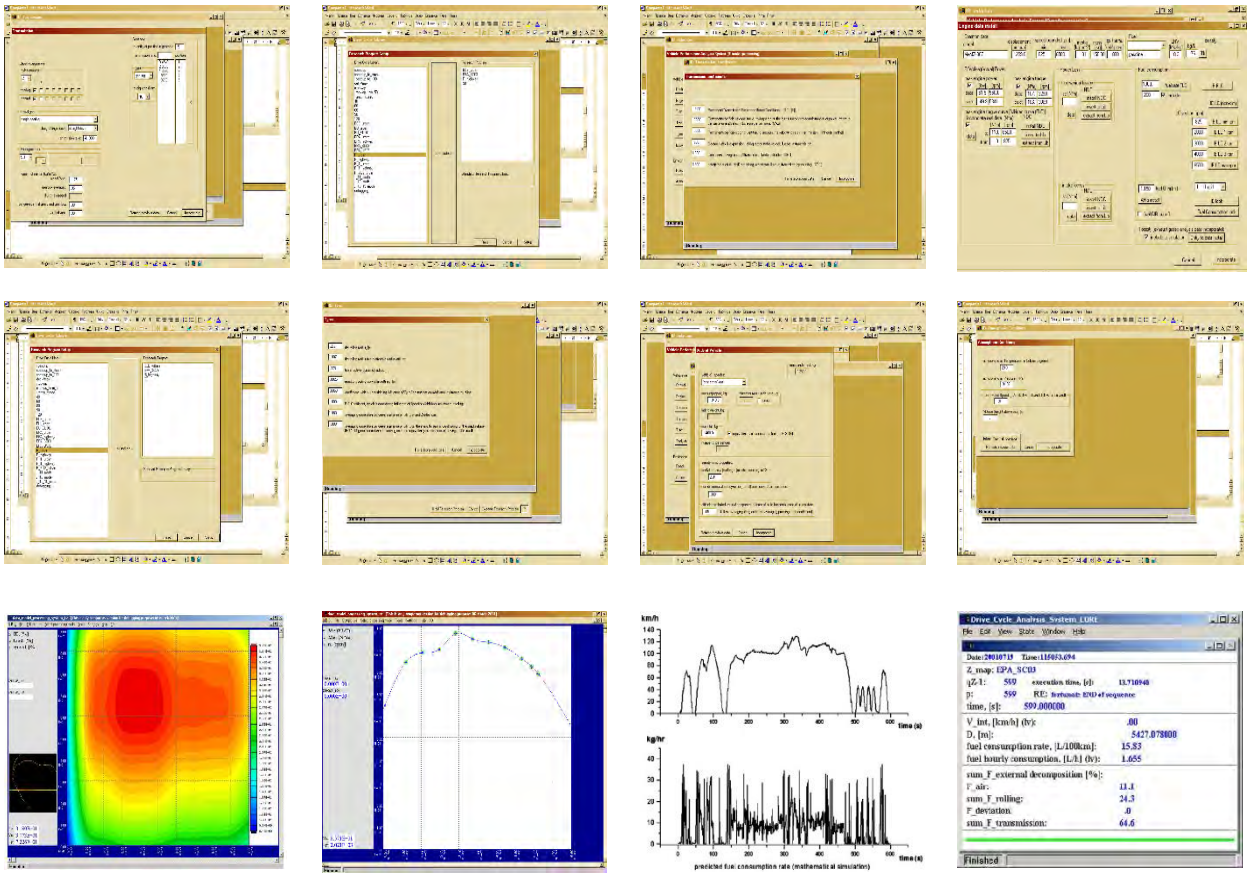


Рисунок 4.26 – Фрагменти інтерфейсу користувача ПЗ «Vehicle Performance Analysis System» в частині математичного моделювання руху ДТЗ в їздових циклах та витрати енергії

Розроблене спеціалізоване програмне забезпечення для розподіленого збирання та обробляння даних вимірювань, управління випробувальним обладнанням, включаючи управління швидкоплинними процесами (технологія розподіленої системи збору даних вимірювань і управління обладнанням), що основною розробленого в подальшому комплексу програмного забезпечення для проведення стендових випробувань автомобілів і двигунів та дорожніх випробувань автомобілів, та основою систем управління випробувальними стендами.

4.9. Розроблене програмне забезпечення «Data-Model Processing System»

Розроблене спеціалізоване комп'ютерне програмне забезпечення «Data-Model Processing System», що використовує сплайн-функції для опису даних вимірювань, їх візуалізації та передачі експериментальних даних (результатів натурних вимірювань) у математичні моделі для проведення аналітичних досліджень.

Це вперше дозволило взагалі відмовитись від використання поліномів в описі функцій, що описують параметри двигуна та інших агрегатів і систем автомобілів із притаманними їм проблемами «кусочної» апроксимації складних залежностей.

З використанням розробленого спеціалізованого програмного забезпечення «Data-Model Processing System» експериментальні результати автоматично обробляються, надається їх візуалізація для аналізу та можливого інтерактивного коригування з видаленням випадкових (помилкових) результатів вимірювань, приведення (уточнення) отриманих експериментальних результатів відповідно до теоретично визначених функцій протікання процесів, і далі автоматично інтегруються у програмне середовище «Vehicle Performance Analysis System» для подальшого математичного моделювання руху ДТЗ в їздових циклах, витрати енергії, викидів забруднювальних речовин, вирішенні оптимізаційних завдань аналітичними методам тощо (рис. 4.27, рис. 4.28).

Це дозволяє принципово покращити якість опису експериментальних даних та мінімізувати витрати часу на їх введення, як вихідних даних (функцій) в математичні моделі.

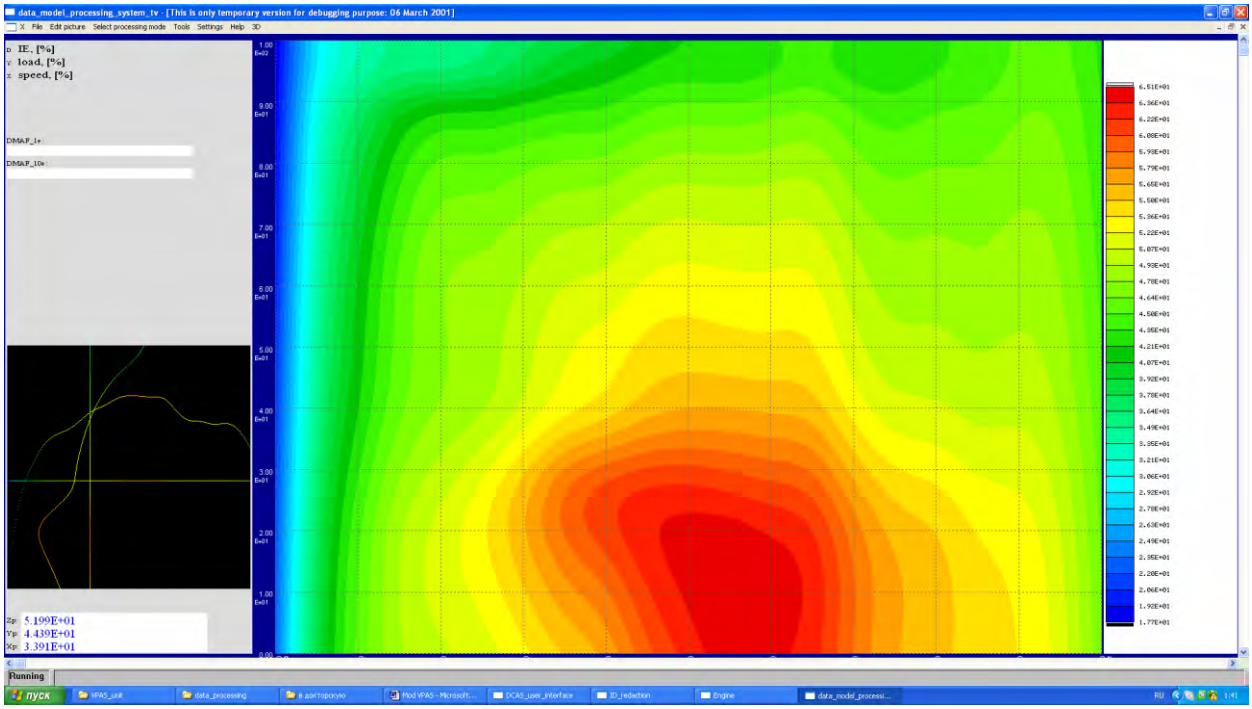


Рисунок 4.27 – Приклад 3-D представлення даних та розрізів поверхні.

Рисунок 4.28 – Приклад 2-D представлення експериментальних даних з візуалізацією зведеної похибки експерименту у вимірюваннях та сплайн-функції.

4.10. Розроблена мікропроцесорна система керування моторним стендом для випробування двигунів

Створено вітчизняну мікропроцесорну систему керування моторними стендами для випробовування двигунів (інтегровано в стенд електричний навантажувальний Zöllner типу B-350AC шляхом його глибокої модернізації розробленою інноваційною мікропроцесорною системою вимірювання та керування) (рис. 4.29 – 4.32).

Рисунок 4.29 – Вітчизняна мікропроцесорна система керування моторними стендами, створена автором в ДП «ДержавтотрансНДІпроект»

Рисунок 4.30 – Мікропроцесорна система керування моторними стендами та збирання даних вимірювань (модернізований навантажувальний моторний стенд Zollner B350AC)

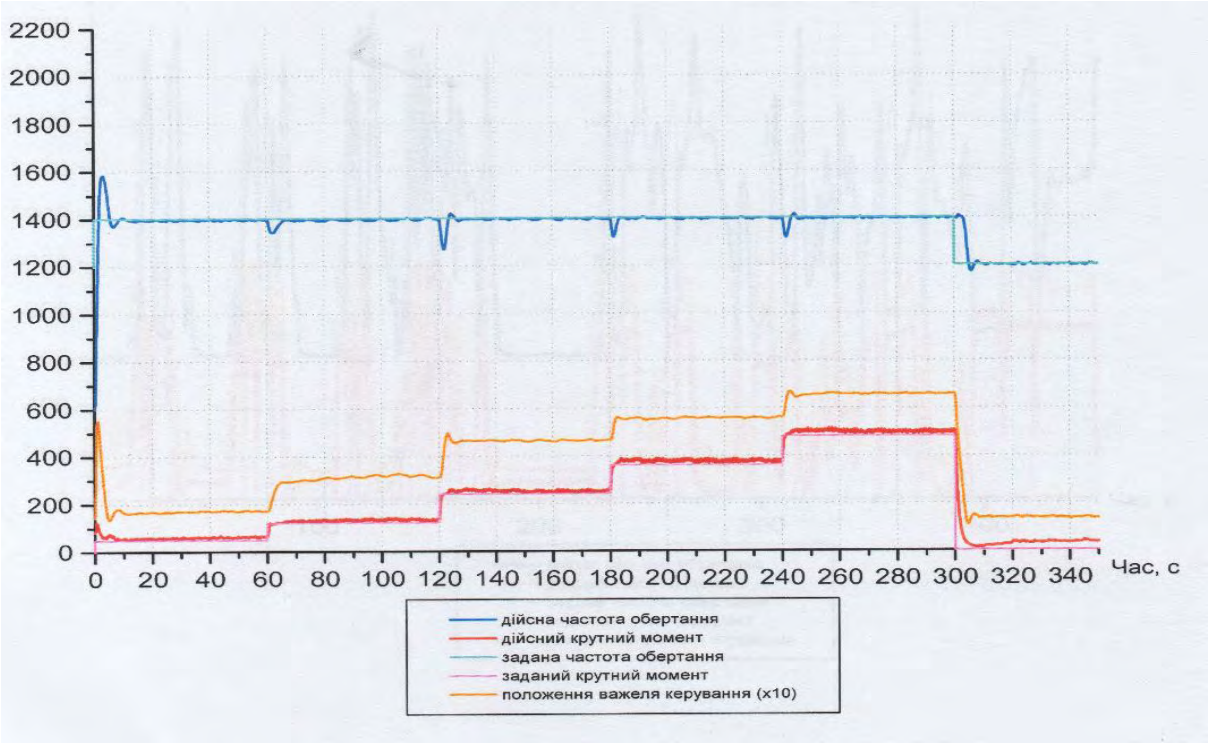


Рисунок 4.31 – Фрагмент автоматизованого завдання 13-ступеневого випробувального циклу за Правилами ООН № 49

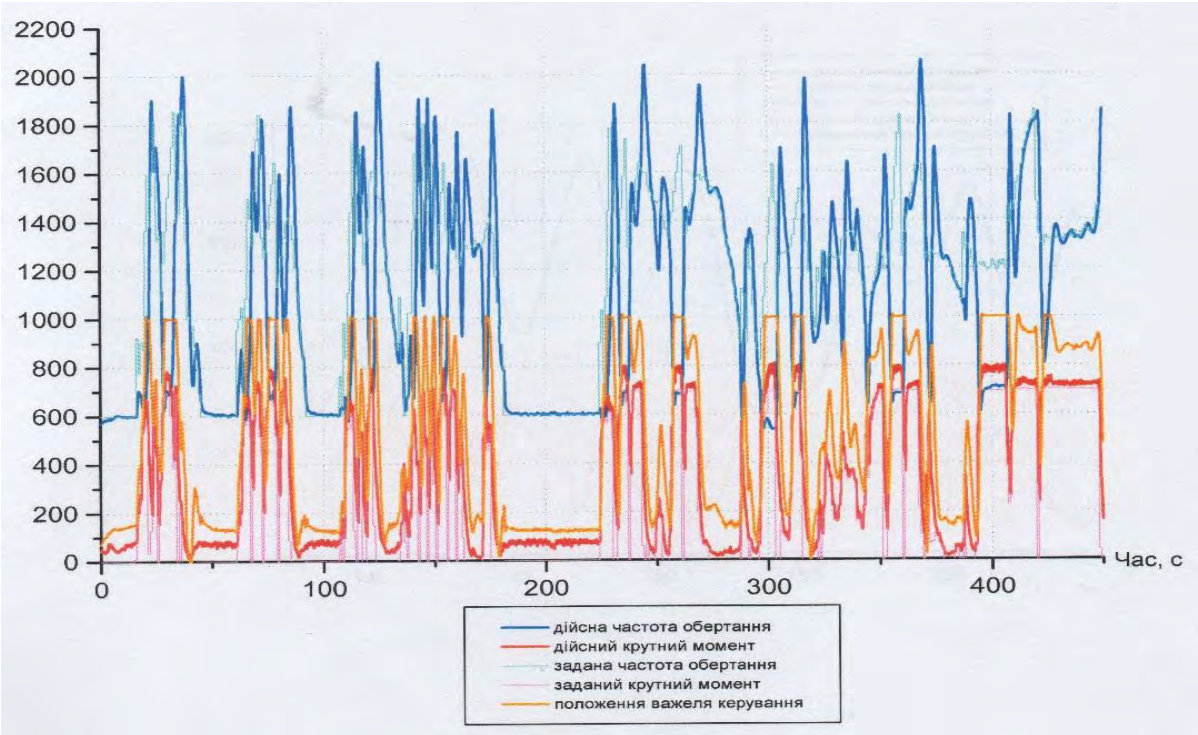


Рисунок 4.32 – Фрагмент автоматизованого завдання квазітранзієнтного випробувального циклу за Правилами ООН № 49

Розроблена система дозволила істотно розширити функціональні можливості модернізованого випробувального стенду, забезпечити автоматизоване проведення випробувань, істотно розширити діапазон випробувань та покращити метрологічні характеристики з отриманням точності вимірювання крутного моменту 0,05%.

4.11. Розроблена мікропроцесорна система керування роликовим стендом для випробовування транспортних засобів

Створено мікропроцесорну система керування роликовим стендом для випробовування транспортних засобів (інтегровано в стенд тягових властивостей мод. 4819 ВМ шляхом повної заміни системи вимірювання та керування і силової частини.

Повна системи вимірювання та керування і силової частини тягового роликового стенду моделі 4819ВМ дозволила: розширити діапазон вимірювань сили тяги на колесах з 1000…10000 Н (серійне обладнання) до 10…10019 Н (тобто істотно зменшити нижню межу вимірювання та регулювання зусилля); зменшити основну зведену похибку вимірювання сили тяги на колесах з 2% (серійне обладнання) до 0,1%; зменшити основну зведену похибку вимірювання швидкості з 2% (серійне обладнання) до 0,05%.

Також реалізовані принципово нові можливості з проведення випробувань: реалізовано функцію точного визначення механічних втрат в стенді та системі стенд-трансмісія автомобіля; реалізовано цифрову функцію стабілізації тягового зусилля з високими показникам якості регулювання; реалізовано цифрову функцію стабілізації швидкості з високими показникам якості регулювання; розроблено інтерфейс для випробування автомобілів за їздовими циклами; показано принципові можливості електронної імітації інерційної маси транспортного засобу на стенді з індукторним гальмом з фазоімпульсним керуванням на частоті 100 Гц..

Для досягнення зазначених метрологічних характеристик та отримання принципово нових можливостей з проведення випробувань виконані наступні роботи: розроблено на макетному зразку сучасну мікропроцесорну систему керування стендом у відповідності до концепції розподіленої системи збору даних та керування випробувальним обладнанням; здійснена повна заміна трактів вимірювання тягового зусилля та швидкості автомобіля на стенді, а також заміна електричної частини стенду разом із новим силовим модулем. Тобто, здійснено повну заміну всієї електричної системи стенда; реалізовано алгоритм цифрової сплайн-лінеарізації вимірювальних трактів; розроблено алгоритм цифрової компенсації гістерезісу тракту вимірювання зусилля; розроблено нову систему навантаження (калібрування) тракту вимірювання зусилля та виготовлені спеціальні калібрувальні вантажі; внесено відповідні зміни та доповнення у спеціалізоване комп‘ютерне програмне забезпечення

“VPAS”; реалізовано на рівні цифрового сигнального процесора ефективну систему стабілізації швидкості та тягового зусилля.

Вигляд макетного зразку мікропроцесорної системи управління показаний на рис. 4.34. Окремі елементи тягового роликового стенду з принципово новою розробленою системою управління показаний на рис. 4.34.

Рисунок 4.33 – Загальний вигляд макетного зразку мікропроцесорної системи управління тяговим роликовим стендом

Рисунок 4.34 – Тяговий роликовий стенд з принципово новою розробленою системою управління

4.12. Розроблена технологія цифрової компенсації явища гістерезису в засобах вимірювальної техніки, що дозволяє суттєво зменшити негативний вплив явища гістерезису при вимірюванні фізичних величин

У роботі запропоновано та впроваджено простий, зручний та ефективний алгоритм цифрової компенсації гістерезиса.

Явище гістерезиса присутнє багатьом системам і добре знайоме фахівцям у будь якої галузі: фізиці, хімії, біології, економіці тощо.

Гістерезис є одним із основних феноменів, що ускладнюють отримання достовірної інформації щодо стану об’єкта або характеристик процесу і, у багатьох випадках, є однією з основних складових похибки (або невизначеності) вимірювання.

Відомі підходи щодо компенсації гістерезиса ґрунтуються на теоретичному описанні цього феномену в операторній формі. Літературні джерела містять чимало довгих теоретичних виразів щодо вирішення цієї проблеми з застосуванням чисельних діалектів математичної мови, але, як правило, не розкривають чітко і доступно її практичне вирішення. Оскільки такі підходи ґрунтуються на теоретичному опису (тобто приблизної моделі) об’єкту, вони в принципі не враховують його реальні специфічні властивості (наприклад, реальну форму гістерезисної петлі, локальні нелінійності тощо). На практиці це означає, що такі підходи містять в собі суттєві обмеження щодо реалізації всіх можливостей компенсації.

Алгоритм компенсації гістерезиса, що пропонується, ґрунтується на використанні в схемі компенсації експериментально визначених властивостей об‘єкта (системи) у вигляді апроксимуючих функцій, та використанні дзеркальної моделі гістерезиса в якості оператора компенсації.

Скомпенсоване значення інформації щодо стану об‘єкта (системи) D_c :

$$D_c = D + \Gamma_m, \tag{1}$$

де D_c – скомпенсоване значення інформації щодо стану об‘єкта;

D – поточне значення інформації щодо стану об‘єкта;

де Γ_m – оператор компенсації (дзеркальна модель гістерезиса).

Оператор компенсації (дзеркальна модель гістерезиса) Γ_m :

$$\Gamma_m = \left(\Delta_{adduced} - D^{norm}\right) \times D \times \Gamma^{\max}, \tag{2}$$

де $\Delta_{adduced}$ – зведена дельта;

D^{norm} – нормалізоване поточне значення інформації щодо стану об‘єкта;

$\Gamma^{\max}$ – максимальне можливе відносне значення гістерезису як функція від поточної інформації щодо стану об‘єкта.

Нормалізоване поточне значення інформації щодо стану об‘єкта D^{norm} :

$$D^{norm} = \frac{D}{D^{\max}}, \tag{3}$$

де $D^{\max}$ – максимальне значення (верхня межа) параметру, що характеризує стан об‘єкта.

Максимальне можливе відносне значення гістерезису $\Gamma^{\max}$:

$$\Gamma^{\max} = \frac{\Gamma + D}{D}, \tag{4}$$

де Γ – максимальне значення гістерезису в абсолютних одиницях, що спостерігається при поточному значенні параметра D.

Максимальне можливе відносне значення гістерезису $\Gamma^{\max}$ повинне бути представлено у вигляді функції від D^{norm}. Однією з наібільш зручіних і практичних форм опису складних емпірічних залежностей є натуральний кубічний сплайн [1], що будується або безпосередньо за даними табличної функції:

$$\Gamma_i^{\max} = f(D_i^{norm}), \quad i = 1...N, \tag{5}$$

де N – число послідовних практичних спостережень взаємозв‘язку $\Gamma^{\max}$ і D, або за даними так званих опорних точок, що будують наближену до розподілу експериментальних даних апроксимуючу функцію кубічного сплайна.

Зведена дельта $\Delta_{adduced}$:

$$\Delta_{adduced} = S_r \times \omega + \Delta^m_{adduced}, \tag{6}$$

де S_r – зведена відносна величина гістерезиса, як функція від відносної зміни D, будується аналогічно (5) за даними практичних спостережень:

$$S_r = \frac{S}{S^{\max}}, \tag{7}$$

де S – величина гістерезиса в абсолютних одиницях, як функція від відносної зміни D;

$S^{\max}$ – максимальне значення величини гістерезиса в абсолютних одиницях, що спостерігається при відносної зміні D.

S_r повинне бути представлено в алгоритмі компенсації гістерезиса у вигляді функції:

$$S_r = f(\delta_s), \tag{8}$$

де δ_s – відносна зведена зміна D:

$$\delta_s = \left[\frac{D - D^m}{D^{\max}} \right], \tag{9}$$

де D^m – значення D під час останньої попередньої зміни знаку похідної від D.

ω – оператор знаку зміни D;

$\Delta^m_{adduced}$ – значення зведеної дельти під час останньої попередньої зміни знаку похідної від D.

Таким чином спочатку експериментально визначаються та, за допомогою сплайн-функції, описуються емпірічні залежності $S_r = f(\delta_s)$ та $\Gamma^{\max} = f(D)$.

Пропонуємий алгоритм компенсації гістерезиса працює у такій послідовності:

1. Визначається знак зміни D - оператор ω.

2. При зміні ω поточне значення D зберігається в D^m, та поточне значення $\Delta_{adduced}$ зберігається в $\Delta^m_{adduced}$.

3. Розраховуються δ_s та D^{norm}.

4. Визначаються поточні значення S_r та $\Gamma^{\max}$.

5. Розраховується $\Delta_{adduced}$.

6. Розраховується оператор компенсації Γ_m.

7. За формулою (1) визначається D_c – скомпенсоване значення інформації щодо стану об‘єкта.

У разі необхідності таблична функція $\Gamma_i^{\max} = f(D_i^{norm})$ дещо коригується за результатами компенсації для отримання найкращіх результатів.

Для тензорезисторних систем рекомендується встановлювати робочий діапазон в межах 0...80 % від номінального навантаження.

На прикладі тракту вимірювання зусилля роликового стенду для випробувань автомобілів (рис. 1) можна побачити ефективність роботи запропонованого алгоритму компенсації гістерезису. Без компенсації значення гістерезису досягає в даному випадку 40 N, або 0,4 % від шкали вимірювань. При використанні цифрового алгоритму компенсації значення гістерезису вже не перевищує 4 N в зоні великих навантажень та 2 N в зоні малих та середніх (наібільш часто застосовуємих) навантажень, або не перевищує відповідно 0,04 % та 0,02 % від шкали вимірювань.

Таким чином пропонуємий алгоритм дозволяє суттево підвищити точність вимірювань багатьох фізичних величин, таких як зусилля, маси, тиску тощо.

Опис алгоритму надано у максимально доступній формі що дає можливість його широкого застосування.

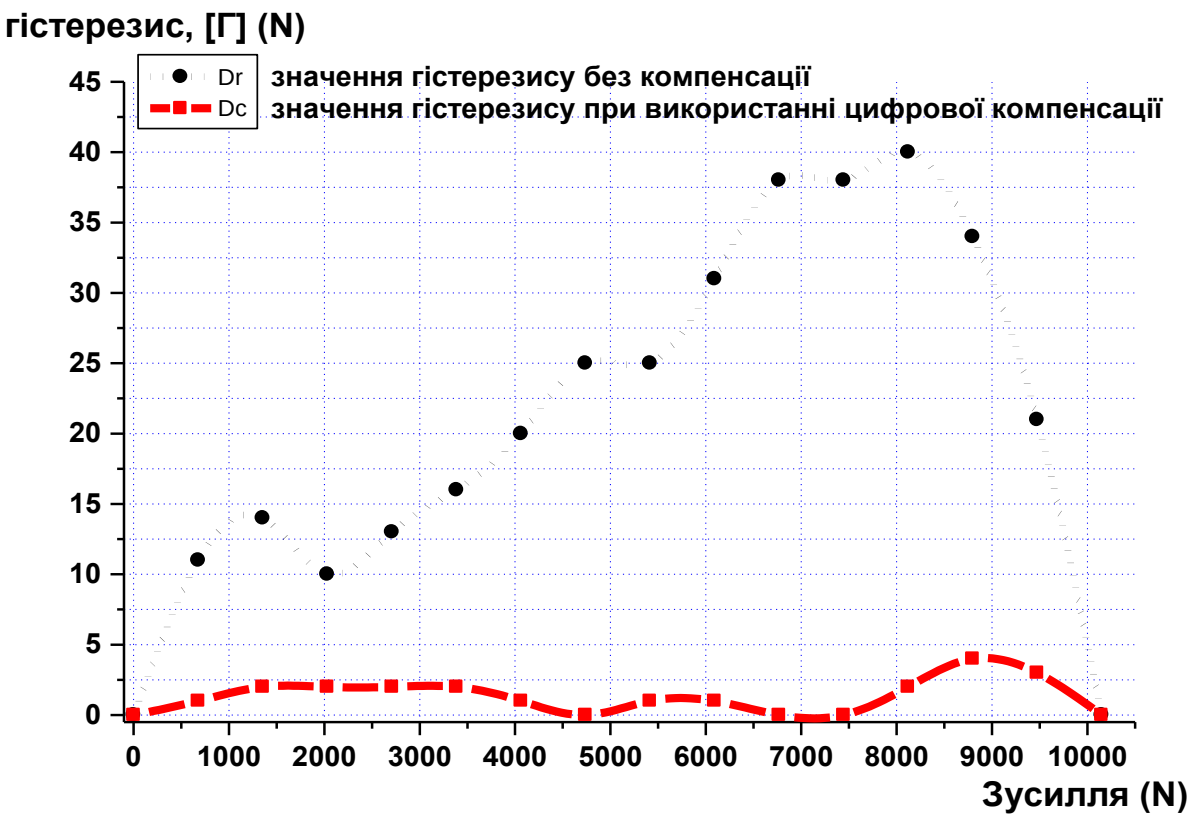


Рисунок 4.35 – Ефект застосування цифрової компенсації гістерезису на прикладі тракту вимірювання зусилля тягового роликового стенду для випробувань автомобілів.

Наведене вище опубліковано автором в [369 – 371].

4.13. Розроблена технологія та обладнання для поглибленого дослідження в відтворюваних умовах реакції холодно-полум‘яного окиснення моторних палив

Розроблений дослідний зразок обладнання (рис. 4.36, рис. 4.37), що реалізує технологію поглибленого дослідження в відтворюваних умовах реакції холодно-полум‘яного окиснення моторних палив (експрес аналізатор нового покоління), який надав принципово нові можливості для реєстрації параметрів реакції окислення компонентів моторних палив.

Прилад має реактор нової конструкції і має здатність створити всі умови для підтримання протікання реакції холоднополум’яного окислення незалежно від флуктуацій таких зовнішніх чинників, як температура і вологість атмосферного повітря, атмосферний тиск тощо. Таким чином, досягається хороша відтворюваність результатів, що отримуються від аналізу до аналізу. Виріб виконаний у вигляді приставки до стандартного ПК на шину USB.

Рисунок 4.36 – Панель приладів аналізатора параметрів реакції окислення компонентів моторних палив

Рисунок 4.37 – Аналізатор параметрів реакції окислення компонентів моторних палив в роботі з портативним комп'ютером

Розробка здійснювалась, зокрема, у складі на науково-дослідної роботи “Розробка експрес-аналізатора нового покоління для визначення детонаційної стійкості автомобільних бензинів” за договором № 1730 від 07.04.2006 р. з Міністерством транспорту та зв’язку України.

Установка складається з наступних систем: 1) універсальний модуль управління, що містить системи підготовки повітря, управління вузлом вводу проби, реактором та процесом окислення палив, збору даних вимірювань, інтерфейсу з персональним комп‘ютером; 2) реактор (аналітичний блок), встановлений безпосередньо в корпусі універсального блока управління; 3) персональний комп‘ютер.

Універсальний модуль управління дозволяє досліджувати різні типи реакторів та містить зокрема системи для точного вимірювання та управління масовим потоком повітря в реакторі, стабілізації тиску у реакторі, вимірювання параметрів реакції за декільками показниками. Реалізовано двохступеневу концепцію обробки даних вимірювань та управління системами аналізатора. Операції низького рівня (включаючи первинну цифрову обробку даних вимірювань), здійснюються на рівні мікропроцесорної частини модуля. Операції остаточної обробки даних, їх інтерпретації та візуалізації, зберігання тощо виконуються на рівні стандартного персонального комп‘ютера (ПК). Обраний сучасний інтерфейс на шину USB для зв‘язку аналізатора з ПК.

Аналітичний блок призначений для проведення власне процесу окиснення палива та складається з вузла введення проби та реактора.

Встановлені температури нагріву та температури в зоні реакції вимірювали за допомогою мініатюрних швидкодіючих платинових терморезисторів (16 послідовно розташованих у реакторі штук) та термопар, розміщених всередині випарної камери та реактору.

Завдяки великої кількості мініатюрних платинових датчиків температури, спеціальних презиційних схемотехнічних рішень, прецизійної

обробки сигналів із використанням розробленого алгоритму надвибірки та усереднення з використанням цифрового сигнального процесору, реакцію холодно-полум‘яного окиснення моторних палив вперше було вивчено з надзвичайно високою роздільною здатністю за температурою (на рівні 0,001 °С) у просторі та часі (рис. 4.38, рис. 4.39).

Отже, вперше було реалізовано вимірювання температурного поля активної частини реактора що є якісно новим підходом до організації вимірів і аналізу в цілому, та дозволяє отримати більш повну і різнопланову інформацію щодо параметрів реакції холодно-полум‘яного окислення (ХПО) палив.

Дослідний зразок аналізатора має принципово нові можливості щодо реєстрації параметрів реакції при контрольованих, стабільних та відтворюваних умовах. Аналізатор дозволяє контролювати з використанням інтерактивного сучасного інтерфейсу з високою точністю умови приготування паливно-повітряної суміші, умови протікання реакції, температуру, масову витрату повітря та тиск у реакторі тощо, та досліджувати реакцію ХПО палив в самих різноманітних умовах.

В дослідному зразку аналізатора реалізовано принцип багатофункціональності, що дозволяє розширити перелік показників якості палив, що можуть бути визначені, зокрема завдяки розподіленому цифровому управлінню в широких межах умовами приготування паливно-повітряної сумуші та умовами відтворення реакції ХПО.

Параметри температурного поля реакції ХПО палив відображаються у трьохмірній кольоровій комп‘ютерній графиці з можливістю адаптації процесу відображення даних під конкретну задачу.

Проби зразків палив вводили в реактор за допомогою мікрошприца.

Лабораторні випробування приладу з використанням стандартних зразків палив у широкому діапазоні октанових чисел, температур реактора та об’ємів проб дозволили встановити закономірність зміни параметрів реакції

холодно-полум’яного окислення – зниження абсолютних значень показників із збільшенням детонаційної стійкості палива.

Випробування автомобільних бензинів різних марок та високооктанових компонентів по розробленій методиці показали відтворюваність результатів вимірювань детонаційної стійкості, що відповідає стандартним методам визначення.

Проведена метрологічна оцінка дослідницького зразка експрес-аналізатора шляхом статистичної обробки результатів прямого вимірювання параметрів та непрямих вимірювань октанових чисел. Встановлена висока точність визначення детонаційної стійкості бензинів з інтервальним значенням не більше 0,5 октанової одиниці.

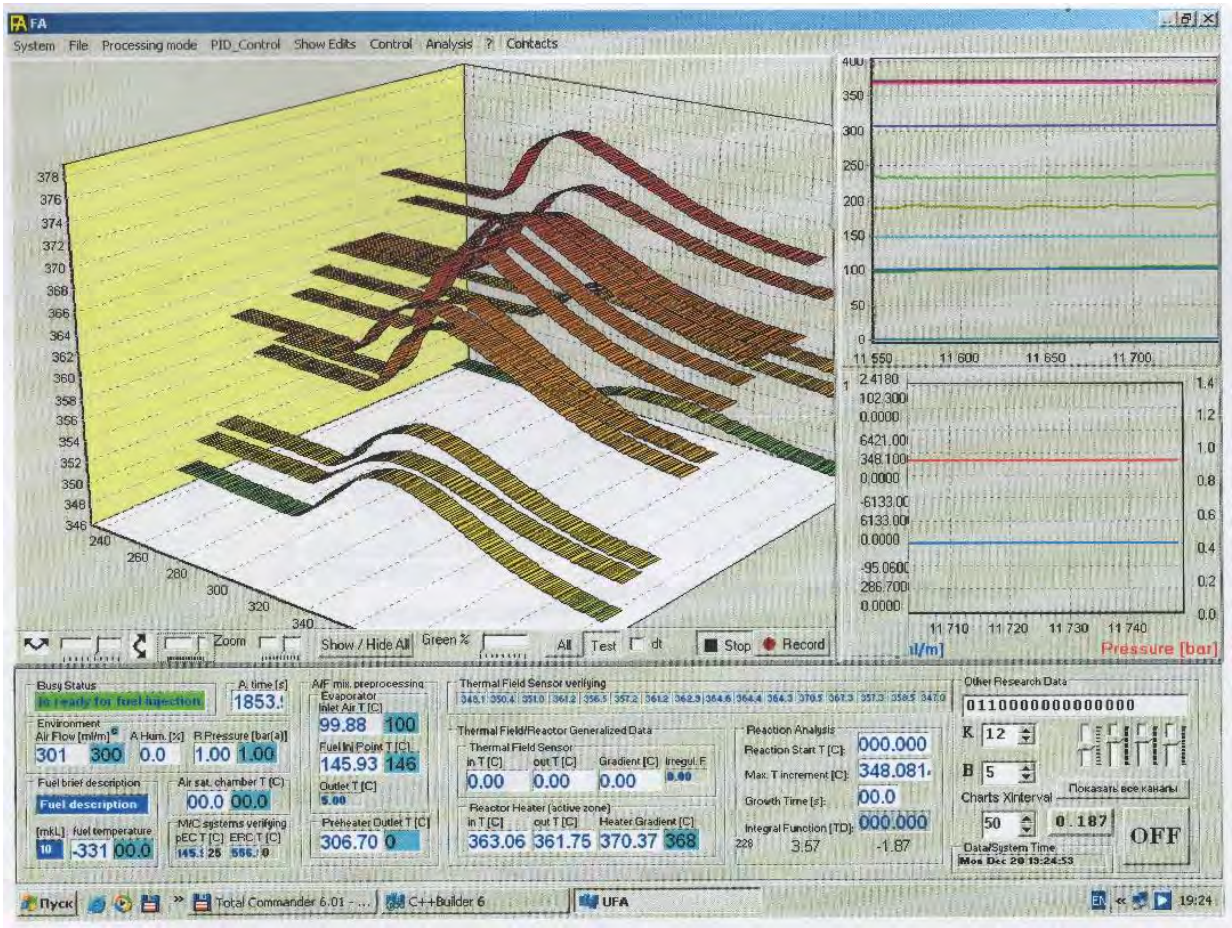


Рисунок 4.38 – Інтерфейс програмного забезпечення універсального аналізатора реакції холодно-полум‘яного окислення моторних палив

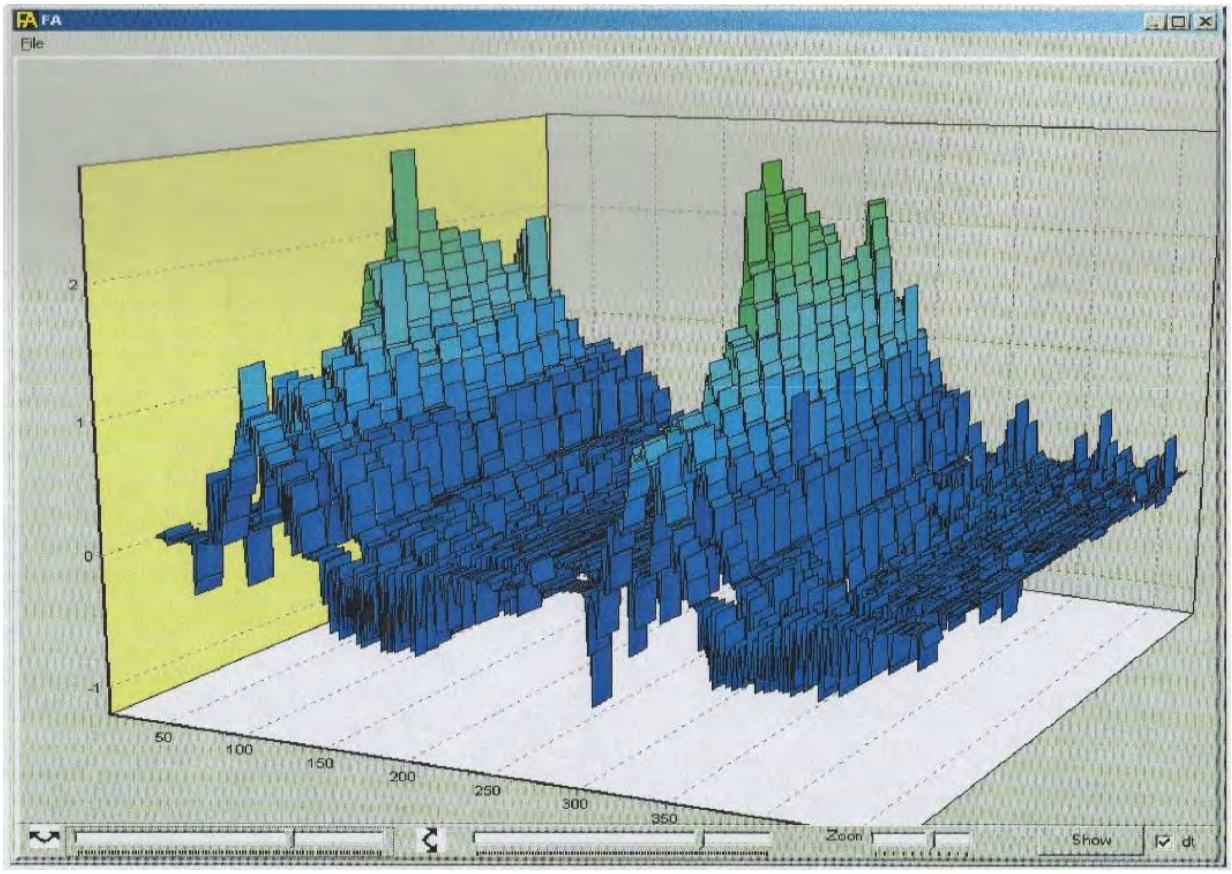


Рис. 4.39 – Інтерфейс програмного забезпечення універсального аналізатора реакції холодно-полум‘яного окислення моторних палив

Разом з тим, зазначені високі характеристики спостерігаються для моторних палив у певних межах компонентного складу, що, у певній мірі, звужує сферу використання цього обладнання (і, в цілому цього методу) до технологічних ліній нафтопереробних заводів.

Більш того, подальші дослідження з використанням розробленого приладу моделі UFA-011 дозволили дійти висновку, що параметри реакції холодно-полум’яного окислення хоч і добре корелюють з показниками детонаційної стійкості моторних палив, представлених на ринку, але цей метод не може надійно замінити стандартний метод визначення детонаційної стійкості моторних палив на одноциліндрових установках.

4.14. Розроблений автоматизований багатофункціональний мобільний паливний модуль для порівняльних досліджень різних видів та рецептур моторних палив

Проведення порівняльних випробувань різних видів та рецептур моторних палив потребує їх багатократної заміни (чергування) з повною промивкою паливної системи після попереднього палива. Такі випробування тривають значний час. При цьому з часом змінюються також фактори, що знаходяться поза межами контролю, що може викривити результати.

Автоматизація процесів, пов’язаних з багатократною зміною палив, що порівнюють, із накопиченням для статистичної обробки значних масивів даних, дозволяє покращити достовірність отриманих результатів, зменшити час і вартість проведення випробовування, підвищити безпеку та якість робіт в цілому. Для вирішення цієї задачі у роботі був розроблений та виготовлений силами ДП «ДержавтотрансНДІпроект» автоматизований мобільний паливний модуль моделі AFDS-010 оригінальної конструкції. Назва моделі модуля переводиться як «Automotive Fuel Delivery System».

На рис. 4.40 наведено 3D ескіз гідравлічної системи. На рис. 4.41 наведено фотографії паливного модуля та пульта керування.

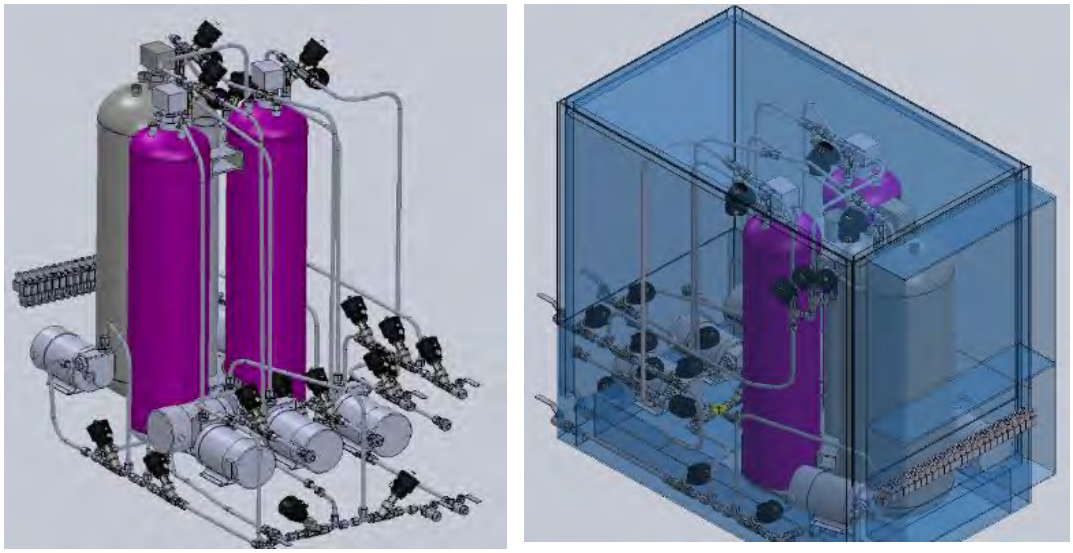


Рисунок 4.40 – 3D вигляд паливного модуля на етапі проектування

Рисунок 4.41 – Фотографії розробленого паливного модуля та пульта автоматизованого керування

4.15. Розроблена універсальна багатоканальна система збору та обробляння даних вимірювань для автоматизації проведення стендових та дорожніх випробувань зразків техніки

Розроблена універсальна багатоканальна система збору та обробляння даних вимірювань для автоматизації проведення стендових та дорожніх випробувань зразків техніки (з індивідуальною гальванічної розв‘язкою та здатністю забезпечити надійні вимірювання в жорстких умовах) для роботи у складі програмно-апаратного комплексу «Vehicle Performance Analysis System» (рис. 4.42).

Метою розробки є виведення персоналу із зон підвищеного ризику під час проведення стендових випробувань двигунів та автомобілів, підвищення безпеки проведення дорожніх випробувань автомобілів, зменшення витрат часу і ресурсів на проведення випробувань, підвищення якості проведення

випробовувань, за рахунок автоматизації реєстрації та обробки даних первинних перетворювачів і управління випробувальним обладнанням.

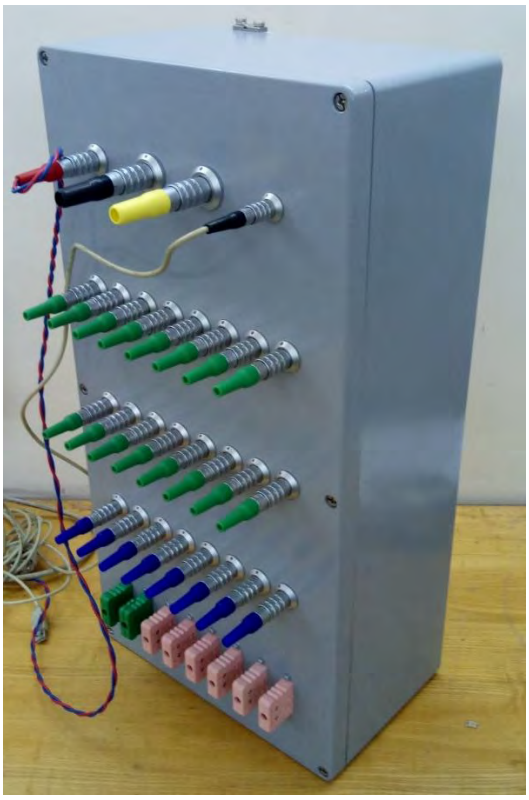


Рисунок 4.42 – Розроблена багатоканальна гальванорозв‘язана система збору даних вимірювань моделі ADPS-32-01

Передаточні функції окремих ланок та в цілому контурів систем управління завжди мають відхилення від ідеальної лінійної функції, що суттєво впливає на похибку вимірювання. У випадку диференційного вимірювання потоків газів навіть незначні відхилення матимуть драматичний вплив на сумарну похибку, що унеможливить практичне використання частково-потокової системи при випробовуванні двигунів за транзієнтними циклами.

Сучасна елементна база та математичний апарат дозволяють суттєво покращити метрологічні характеристики системи вимірювання. Для лінеарізації тракту вимірювання застосовано сплайн – інтерполяцію

Розглянутий метод дозволяє звести до мінімуму навіть суттєві нелінійності, що виникають у каналі вимірювання.

Система побудована за принципом дворівневої розподіленої системи обробки даних вимірювань. Первинна обробка даних та управління швидкоплинними процесами виконується на рівні цифрового сигнального процесора. Візуалізація та зберігання даних вимірювань, аналіз та інші функції виконуються на рівні персонального комп'ютера.

Похибка вимірювання по аналогових входах забезпечує метрологічні характеристики всього тракту вимірювання не гірше вимог Правил ООН за сферою акредитації лабораторії з встановленою похибкою вимірювання величини постійного струму та напруги ± 0,03%, сигналів з термопар ± 0,05%, сигналів з терморезисторів ± 0,08% (без врахування похибки первинних перетворювачів).

4.16. Загальний опис комплексу високотехнологічного випробувального, вимірювального та аналітичного обладнання від провідних світових виробників, що було інтегровано у склад випробувальної лабораторії разом з обладнанням власної розробки, як цілісний комплекс, зі створенням відповідної інженерної та інформаційної інфраструктури

На рис. 4.43 показано введену в експлуатацію єдину в країні газоаналітичну систему Horiba MEXA-7400DEG (на рис. 4.44. – контейнер з ПГС).

На рис. 4.45 – рис. 4.49 показано введений в експлуатацію єдиний в країні роликовий моделюючий стенд (виробництво – компанія AVL, модель RPL1220/12C23M17/APM150) для випробування транспортних засобів за їздовими циклами. Діаметр роликів 48 дюймів (1219 мм). Діапазон імітації інерційних мас 150…4500 кг. Максимальна швидкість 200 км/год.

Рисунок 4.43 – Газоаналітична система Horiba MEXA-7400DEGR

Рисунок 4.44 – Контейнер із калібрувальними та робочими газовими сумішами для роботи газоаналітичної системи MEXA-7400DEGR

Рисунок 4.45 – Роликовий моделюючий стенд.

Рисунок 4.46 – Транспортування стенду в лабораторію
(діаметр роликів 48 дюймів або 1,219 м)

Рисунок 4.47 – Шафи керування роликовим стендом

Рисунок 4.48 – Автомобіль, встановлений на роликовому моделюючому стенді (пусконалагоджувальні роботи)

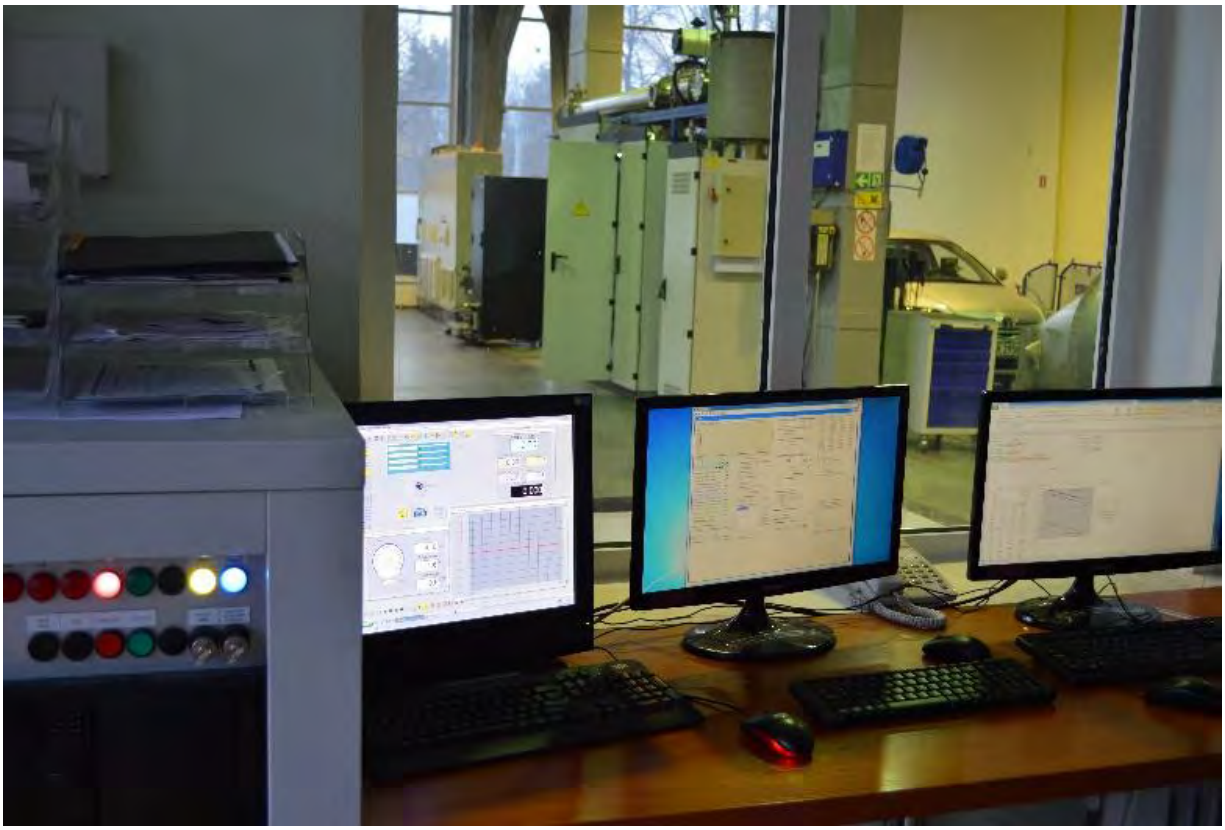


Рисунок 4.49 – Операторська управління
випробуваннями автомобілів в їздових циклах

Для визначення зміни ваги гідрофобних фільтрів із захопленими частинками придбано аналітичні електронні ваги SE2-F (SARTORIUS, Німеччина), що мають роздільну здатність 0,1 × 10^{-6} гр. Для експлуатації аналітичних ваг було виготовлено на замовлення спеціальний чистий бокс із шлюзовою камерою з можливостями забезпечувати контрольовані умови щодо температури і вологості повітря для кондиціювання та зважування фільтрів уловлювання частинок, який встановлено на спеціальний стіл з масивною плитою та системою гасіння передачі механічних вібрацій (рис. 4.50).

Рисунок 4.50 – Чистий бокс з встановленими аналітичними вагами та контрольованими умовами температури і вологості повітря для кондиціювання та зважування фільтрів уловлювання частинок

До складу випробувального обладнання інтегрований комплекс різноманітного допоміжного обладнання для вимірювання викидів забруднювальних речовин, витрати рідких та газоподібних палив і повітря, тиску, температури тощо (виготовлено: провідні підприємства країн Європейського Союзу, США, Японії, України).

4.17. Досвід використання створеного та впровадженого комплексу обладнання і технологій для випробовування і дослідження дорожніх транспортних засобів та двигунів

Нижче на рис. 4.51 – 4.60 показано деякі приклади проведення випробувань дорожніх транспортних засобів та двигунів з використанням розробленого та впровадженого у роботі комплексу обладнання і технологій.

Рисунок 4.51 – Випробовування легкових автомобілів за їздовими циклами на відповідність екологічним нормам «Euro», визначення паливної економічності, викидів CO_2 тощо

Рисунок 4.52 – НДДКР щодо автобусів на роликовому моделюючому стенді

Рисунок 4.53 – Випробування автобусів на роликовому моделюючому стенді (визначення паливної економічності та викидів забруднювальних речовин)

Рисунок 4.54 – Випробування комерційної техніки, мотоциклів і мопедів на роликовому моделюючому стенді за їздовими циклами

Рисунок 4.55 – Бокс стендових випробувань транспортних засобів за їздовими циклами

Рисунок 4.56 – Дорожні випробування транспортних засобів

Рисунок 4.57 – Лабораторія стендових випробувань двигунів

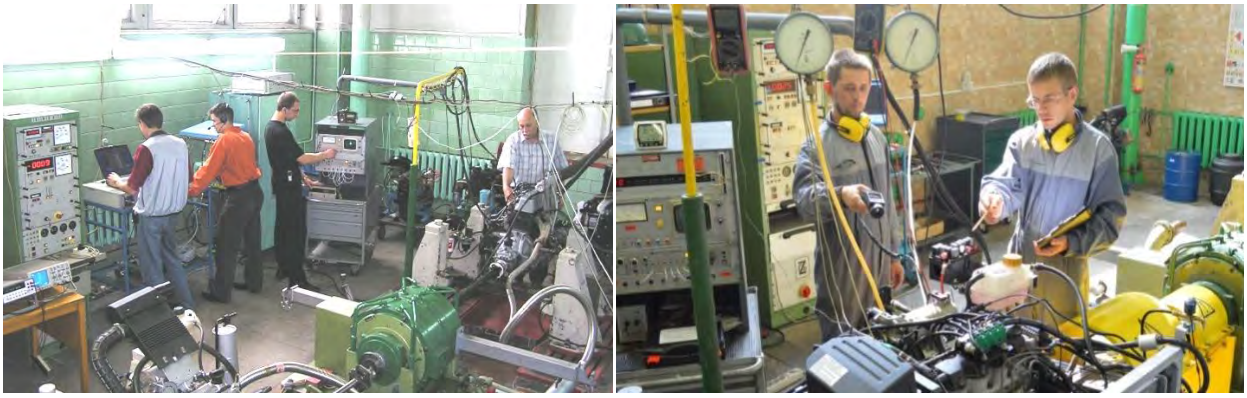


Рисунок 4.58 – Лабораторія стендових випробувань двигунів

Рисунок 4.59 – Приклад доводочних робіт над двигуном рівня «Євро-6» для автобусів

Рисунок 4.60 – Дослідження навантажувальних характеристик, стабільності частоти, паливної економічності та викидів забруднювальних речовин мотор-генераторів

Окремі приклади проведення досліджень показників паливної економічності та екологічних показників автомобілів при використанні традиційних та альтернативних моторних палив наведено в [372 – 378].

Введення в експлуатацію зазначеного обладнання дозволило принципово розширити галузь акредитації лабораторії, яка є унікальною в Україні.

В галузь акредитації лабораторії входить проведення випробувань продукції за більш ніж 50 міжнародними і вітчизняними регламентами і стандартами, зокрема, за Правилами ООН «екологічного блоку» №№ 83, 40, 47, 101, 103, 24, 49, 96 та відповідними ним директивами і регламентами ЄС.

Галузь акредитації лабораторії охоплює проведення різноманітних випробувань такої продукції:

- Автомобілі легкові, автобуси, автомобілі вантажні, кузови та шасі, причепи, напівпричепи та інші колісні транспортні засоби (КТЗ) категорій M, N, O, спеціальні, спеціалізовані, у тому числі газобалонні та підвищеної прохідності, нові та такі, що були у користуванні;
- КТЗ категорій L (мотоцикли, мопеди інша мототехніка);
- Двигуни із запалюванням від стиснення (у тому числі газодизелі) для КТЗ та іншого призначення;
- Двигуни з примусовим запалюванням для КТЗ;
- Системи нейтралізації та уловлювання викидів забруднюючих речовин двигунів внутрішнього згоряння, інші вузли та деталі двигунів внутрішнього згоряння;
- Змінні системи глушників;
- Паливні насоси високого тиску (ПНВТ);
- Форсунки, розпилювачі;
- Системи живлення та їх елементи двигунів із примусовим запалюванням;
- Газобалонне обладнання КТЗ;

- Моторні палива та їх компоненти (традиційні моторні палива нафтового походження, газові моторні палива, біопалива та інші альтернативні палива), моторні оливи та добавки до них.

Лабораторія проводить, зокрема, такі види випробування:

- Визначення питомих масових викидів та/або вмісту забруднюючих речовин і парникових газів (зокрема, діоксиду вуглецю) з ВГ, димності ВГ, викидів картерних газів КТЗ та їхніх двигунів;
- Визначення вмісту забруднюючих речовин у ВГ та димності ВГ під час роботи двигуна в режимах холостого ходу, в тому числі в режимі вільного прискорення двигуна;
- Ресурсне випробовування надійності систем зниження викидів забруднюючих речовин
- Випробовування систем бортової діагностики (OBD);
- Визначення витрат електроенергії та запасу ходу для КТЗ, обладнаних електроприводом;
- Визначення показників паливної економічності КТЗ;
- Перевірка технічного стану КТЗ, що були у користуванні;
- Визначення відповідності змінних каталітичних нейтралізаторів;
- Перевірка наявності знаку офіційного затвердження типу (маркування) КТЗ;
- Визначення характеристик приладів обмеження швидкості та перевірка їх встановлення на КТЗ;
- Визначення потужності двигунів;
- Визначення енергетичних, екологічних показників та паливної економічності двигунів КТЗ або двигунів іншого призначення з відповідними системами або з відповідними складовими частинами цих систем;
- Визначення відповідності ПНВТ дизелів вимогам технічних умов та/або інших НД;

- Визначення відповідності розпилювачів/форсунок дизелів вимогам технічних умов та/або інших НД;

- Визначення технічних характеристик глушників, у тому числі протитиску у системі випуску ВГ двигунів під час випробовування у складі КТЗ;

- Визначення впливу застосування зразків моторних палив та моторних олив на енергетичні, екологічні показники і енергоефективність КТЗ та їхніх двигунів.

4.18. Рекомендації щодо напрямів подальших робіт

Рекомендації щодо напрямів подальших робіт, за пропозицією автора включено у Стратегічний план розвитку ДП «ДержавтотрансНДІпроект» на 2021–2025 роки та в інші внутрішні плани підприємства, зокрема:

1) «План розвитку ВЦ КТЗ та ІО ДП «ДержавтотрансНДІпроект» на період 2020-2025 рр.»;

2) Затверджені плани науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт підприємства на період 2020-2022 рр.

Передбачено, зокрема, такі перспективні напрями подальшого розвитку технічних можливостей з випробування продукції створення нових технологій переважно в межах наявних можливостей та ресурсів підприємства в період 2020-2025 рр. (в частині наукового і технологічного забезпечення управлінням ефективності використання енергії та зменшенням забрудненням атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами):

1. Розроблення альтернативної технології визначення кількості частинок (PN) з ВГ під час сертифікаційних випробувань КТЗ (разом із визначенням дисперсного та хімічного складу та дослідженням емісії частинок з продуктами зношування шин, гальм тощо) – передбачено наказом Міністерства інфраструктури від 17.08.2012 № 521 «Про затвердження Порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та

обладнання та Порядку ведення реєстру сертифікатів типу транспортних засобів та обладнання і виданих виробниками сертифікатів відповідності транспортних засобів або обладнання».

2. Створення обладнання для підтвердження відповідності екологічним вимогам вантажних автомобілів та автобусів з США за альтернативною процедурою в умовах дорожніх випробувань (сертифікація) – передбачено наказом Міністерства інфраструктури від 17.08.2012 № 521 «Про затвердження Порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання та Порядку ведення реєстру сертифікатів типу транспортних засобів та обладнання і виданих виробниками сертифікатів відповідності транспортних засобів або обладнання».

3. Покращення системи нормування витрат моторних палив розробленням та впровадженням обладнання для автоматизації збирання даних щодо експлуатаційних витрат моторних палив транспортними засобами замовників, зокрема, під час апробації тимчасових індивідуальних базових лінійних норм витрат палива.

4. Впровадження технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами (зокрема – маркування).

5. Розроблення дослідного зразка системи сучасного інструментального контролю відповідності екологічним вимогам під час проведення періодичного технічного огляду КТЗ. Впровадження нової методології в стандарти та технічні регламенти.

6. Організація серійного виробництва комплексів для проходження ТО (перевірок щодо придатності до експлуатації) в частині контролю відповідності екологічним вимогам та відповідного маркування КТЗ за результатами ТО.

7. Забезпечення проведення у повному обсязі випробувань КТЗ на відповідність вимогам Правил ООН №83, а також №101, №103.

8. Забезпечення проведення у повному обсязі випробувань ДВЗ на відповідність вимогам Правил ООН №49 і №96.

4.19. Висновки до розділу 4

1. Вперше в Україні отримано унікальні можливості випробування дорожніх транспортних засобів та їх двигунів відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів (Правил ООН) в частині визначення викидів забруднювальних речовин та енергоефективності.

2. Забезпечено розвиток унікальних технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами.

3. Отримано принципово нові та унікальні можливості для проведення експериментальних та розрахункових досліджень дорожніх транспортних засобів та їх двигунів, моторних палив різних рецептур тощо.

4. На розроблені технології отримано патенти.

Розділ 5. Система показників, методи визначення, маркування ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами та їх екологічного рівня

5.1. Пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом

У цьому підрозділі надані обґрунтування необхідності розроблення та пропозиції, опубліковані також в [379], щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом, що ґрунтуються, зокрема, на ретроспективному аналізі та прогнозах споживання енергії і викидів CO2 дорожнім транспортом України на період до 2050 р. за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та варіантами державного регулювання в цій сфері.

Дорожній транспорт є важливою інфраструктурною складовою економіки та найбільшим споживачем моторних палив, які переважно імпортуються в Україну, що є важливим аспектом національної енергетичної безпеки. Вартість моторних палив (енергії), що буде зростати в оглядовій перспективі, є значною складовою собівартості перевезень, та, відповідно, вартості майже будь якого кінцевого продукту та послуг на ринку.

Україна, як учасник Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, у грудні 2015 р. взяла на себе зобов'язання в рамках Паризької угоди не перевищити у 2030 році 60 % рівня викидів парникових газів станом на базовий 1990 рік (Верховна Рада України ратифікувала зазначену угоду 14.07.2016 Законом України № 1469-VIII).

Більш того, Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, направлена у 2018 р. до Секретаріату Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, декларує таке (цитата): «Усвідомлюючи свою відповідальність за досягнення цілей Паризької угоди та керуючись національними пріоритетами,

Україна докладатиме зусиль для досягнення індикативного показника, що до 2050 р. складе порівняно з 1990 р. 31–34% викидів ПГ…».

Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року (Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р.) передбачає результатами її реалізації, зокрема: «зменшення обсягу викидів парникових газів в атмосферне повітря від пересувних джерел до 60 відсотків рівня 1990 року».

На транспорт припадає біля 18 % викидів парникових газів (ПГ) від спалювання палива, за які звітує Україна, та з них близько 3/4 припадає на дорожній транспорт.

В 2007-2008 рр. викиди ПГ дорожнім транспортом в Україні, з врахуванням «тіньового ринку» моторних палив, вже значно перевищували «відмітку» у 60 % рівня 1990 р. Існують передумови для швидкого перевищення цих обсягів в оглядовій перспективі, враховуючи потенційну ємність ринку приватних легкових автомобілів, та зростання відносної частки транспорту у викидах ПГ у порівнянні з іншими секторами економіки, з огляду на процеси деіндустріалізації.

Згідно з положеннями Угоди про асоціацію, укладеної між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони, положення законодавства ЄС щодо енергетичної ефективності автомобільного транспорту мають бути відображені в законодавстві України не пізніше 01.09.2022, та впроваджені не пізніше 01.09.2025.

Країни ЄС та міжнародна спільнота в цілому приділяють велику увагу підвищенню ефективності використання енергії транспортом та зменшенню викидів ПГ.

Планові показники скорочення викидів ПГ на довгострокову перспективу для ЄС визначені Європейською комісією у Дорожній карті переходу до конкурентоспроможної низьковуглецевої економіки до 2050 року,

Енергетичній дорожній карті 2050 року, «Білій книзі з транспорту», що передбачають скорочення викидів ПГ країнами ЄС у транспортному секторі на 60% до 2050 року (у порівнянні з рівнем 1990 року).

Глобальна ініціатива з економії палива (GFEI) спрямована на заохочення економії палива з амбітною метою подвоєння економічності нових легкових автомобілів до 2030 року та всього світового парку легкових автомобілів до 2050 року.

Все це, як показано нижче, потребує впровадження комплексу дійових заходів зі скорочення питомого споживання енергії в транспортному секторі економіки, а отже і відповідної державної стратегії, яка має визначити, яким саме чином, за рахунок яких ресурсів, та якою ціною буде забезпечено виконання Україною зазначених міжнародних зобов‘язань у встановлені терміни.

Резерви зменшення питомого споживання енергії транспортом

В Україні існують значні й досі невикористані резерви зменшення питомого споживання енергії транспортом, досяжний потенціал яких лише за рахунок організаційних заходів у сфері експлуатації, тобто заходів, що не потребують значних інвестицій, та дають швидкий ефект, оцінюють у зменшенні імпорту нафтопродуктів у короткостроковій перспективі в цілому країною до 15 %, та до 30% для окремих суб'єктів господарювання [379].

Поступове оновлення парку дорожніх транспортних засобів на більш сучасні конструкції з широким використанням вже сьогодні доступних на ринку технологічних рішень підвищення ефективності використання енергії з відповідним введенням стандартів енергетичної ефективності, маркуванням енергетичної ефективності транспортних засобів та обладнання, що на них встановлюється, запровадженням відповідного державного технічного і фіскального регулювання за аналогією країн ЄС, США та інших країн світу, впровадження у галузі новітніх інформаційних і логістичних технологій, разом з відповідними організаційними заходами та оновленням дорожньої

інфраструктури має великий сукупний потенціал зменшення витрат енергоносіїв країною [379], що оцінюють на рівні до 30% у середньостроковій та до 50% у віддаленій перспективі (з огляду на результати аналізу, наданого у розділі 1 і додатку А.1).

Заходи зі зменшення споживання енергоносіїв автомобільним транспортом

Звіт з дослідження [9], що було виконано за безпосередньої участі автора у 2016 р. компанією Ricardo Energy & Environment (Великобританія) разом з ДП «ДержавтотрансНДІпроект» за проектом Clima East за підтримки Європейської Комісії на замовлення Мінінфраструктури України, містить, зокрема [9, 379]:

1) аналіз інструментів державної політики і практики країн ЄС та інших країн світу в сфері регулювання енергетичної ефективності та викидів CO_2 дорожнім транспортом;

2) ранжирування варіантів державної політики у цій сфері за результатами багатокритеріального аналізу стосовно умов та можливостей України;

3) аналіз методів, процедур випробування транспортних засобів та проблемних питань в частині регулювання енергетичної ефективності та викидів CO_2 дорожнім транспортом;

4) детальні покрокові рекомендації Уряду щодо:

- вдосконалення державної політики в Україні в цій сфері;
- розбудови відповідної інституційної спроможності країни ефективно вирішувати це завдання [379].

В [379] можливі інструменти державної політики діляться на такі категорії:

- економічні інструменти;
- регуляторні інструменти;

- інструменти, що забезпечують удосконалення транспортної інфраструктури;
- освітні та інформаційно-роз'яснювальні інструменти;
- інструменти стимулювання інновацій та розвитку.

Багатокритеріальний аналіз для порівняння різних варіантів державної політики виконаний в [9] з точки зору [379]:

- користі від них (впливу на довкілля тощо);
- рівня витрат і зусиль, необхідних для їх реалізації;
- їх відповідності політиці, що вже проводиться в ЄС та Україні;
- прийнятності варіантів політики для суспільства;
- затримки часу до досягнення зниження обсягу викидів CO2.

Але заходи зі зменшення споживання енергоносіїв автомобільним транспортом в цілому у значній мірі є взаємопов’язаними між собою, що ускладнює їх структурування та розподіл за напрямами в цілях ефективного управління [379].

Окрім ранжирування комплексу заходів з визначенням пріоритетів, актуальним питанням є завдання їх оптимізації на основі системного підходу з точки зору розподілу інвестицій у часі, враховуючи обмежені ресурси країни [379].

З практичної точки зору уявляється доцільним використовувати їх розподіл на такі напрями [379]:

1. Підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації.

2. Підвищення ефективності транспортної системи в цілому з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури.

3. Оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів.

Підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації

Напрям підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, уявляється найбільш ефективним в сучасних умовах для України, враховуючи значний нереалізований потенціал, зумовлений, зокрема, відносно низьким середнім рівнем обізнаності водіїв (власників) і культури експлуатації транспортних засобів. Реалізація цього напряму не потребує значних інвестицій. Він є найбільш ефективним з точок зору ефекту, якого можна досягнути у відносно короткі терміни, і потенційно широкої сфери охоплення, а також за співвідношенням отриманих вигод до витрат на їх реалізацію. Напрям охоплює, зокрема [379]:

- організацію та планування поїздок;
- техніку управління транспортними засобами;
- питання використання обладнання на борту транспортних засобів;
- управління конструктивними факторами та комплектацією автомобіля на рівні експлуатації;
- управління технічним станом;
- паливо та інші експлуатаційні матеріали;
- нормування питомих витрат енергії тощо.

Підвищення ефективності транспортної системи в цілому з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури

Важливою складовою розвитку напряму підвищення ефективності транспортної системи в цілому з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури є розвиток інформаційних систем у транспортній галузі та взаємодії між різними видами транспорту, суб‘єктами господарювання (операторами ринку) та споживачами. Створення Національної транспортної моделі України, Центру обробки даних Національної транспортної моделі та розвиток інтелектуальних транспортних

систем має великий потенціал ефективного вирішення оптимізаційних завдань у сфері транспорту та його інфраструктури [379].

Серед важливих складових цього напряму слід зазначити, зокрема [379]:

- вдосконалення транспортної логістики з забезпеченням використання для кожного перевезення найбільш ефективних видів транспорту та транспортних засобів, або їх комбінації, зменшення непродуктивних пробігів тощо;
- забезпечення модального зсуву в реалізації потреб населення у мобільності за рахунок, зокрема, випереджаючого розвитку громадського транспорту з наданням йому комплексу переваг, включаючи, крім вартості послуги, комфорт і переваги у швидкості пересування містом у порівнянні з використанням приватного транспорту;
- поліпшення організації транспортного руху;
- покращення транспортної інфраструктури.

Цей напрям в частині покращення транспортної інфраструктури звичайно треба розглядати у контексті реалізації нових, більш прогресивних підходів у проектуванні міст і плануванні їх таким чином, щоб зменшити загальні потреби у транспортуванні та загальну відстань потрібного транспортування [379].

Зазначений напрям в цілому має величезний потенціал зменшення споживання енергії у транспортному секторі, зменшення заторів і непродуктивних втрат часу населенням, підвищення середньої швидкості руху у містах і якості життя тощо [379].

Але випереджаючий розвиток громадського транспорту з наданням йому комплексу переваг та в цілому покращення транспортної інфраструктури потребують значних обсягів інвестицій [379].

Оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів

Напрям оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів має значний потенціал. Але, оскільки заміна рухомого складу відбувається відносно повільно в умовах низької купівельної спроможності населення та низьких інвестиційних можливостей операторів ринку перевезень, загальний (в масштабах країни) ефект за цим напрямом має дещо відтермінований характер. Разом з тим, цей захід є надзвичайно важливим компонентом з точки зору як окремих власників транспортних засобів, так і потенціалу зменшення споживання транспортом України енергоносіїв вже у середньостроковій перспективі [379].

Підвищення енергетичної ефективності транспортних засобів, що вперше вводять в експлуатацію, може буде забезпечено за рахунок [379]:

1. Заходів інформаційного характеру (впровадження маркування енергетичної ефективності транспортних засобів та їх складових (зокрема, шин), відповідне об’єктивне інформування покупця під час прийняття ним рішення щодо вибору транспортного засобу).

2. Впровадження прямого технічного регулювання з встановленням обов‘язкових до виконання в країні стандартів енергетичної ефективності транспортних засобів та їх складових (питомих норм споживання палива або викидів парникових газів у регламентованих тестових процедурах).

3. Заходів економічного характеру, що, зокрема, матимуть стимулюючий ефект на прийняття рішення споживачем щодо вибору на користь більш енергетично ефективних конструкцій транспортних засобів. Останній варіант є або більш гнучкою альтернативною прямому технічному регулюванню, або може поєднуватися з ним, що є оптимальним варіантом за міжнародним досвідом.

У будь якому випадку, в першу чергу необхідно запровадити систему маркування енергетичної ефективності транспортних засобів та їх складових, що має ґрунтуватися на показниках (та методах їх визначення), що адекватно відображатимуть реальні експлуатаційні витрати енергії [379].

Попередні прогнози обсягів споживання енергії дорожнім транспортом за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та регулювання в цій сфері

Оптимальне поєднання у часі наведених вище заходів, що забезпечать виконання міжнародних зобов‘язань України за умов розвитку економіки та з найбільшим співвідношенням вартості зекономленої енергії до сукупних витрат на реалізацію відповідних заходів з економії (приймаючи до уваги дефіцит ресурсів та інші обмеження), має бути відображено у державній стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом.

Таким чином, є актуальним завдання прогнозування загальних обсягів споживання енергії дорожнім транспортом на період до 2050 р., а також можливої економії ресурсів за різними сценаріями соціально-економічного розвитку та варіантами регулювання в цій сфері. Але це завдання є надзвичайно складним, особливо в поточних умовах.

Нижче наведено окремі попередні результати спроби такого прогнозування [379]. Очікується, що середня вартість енергії для транспорту в період до 2050 р. зросте в Україні принаймні вдвічі. Детальний опис вихідних даних та використаних припущень є предметом окремого розгляду. Попри на велику ступінь невизначеності, ці результати у певній мірі вже надають бачення оптимізації (розподілу) ресурсів, необхідних для реалізації різних інструментів державної політики у цій сфері.

Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах повільного зростання економічної та транспортної активності (на 20% у 2030 р. порівняно з 2018 р.) наведено на рис. 5.1. Передбачається, що зазначена інтенсивність зростання транспортної активності може бути повністю компенсована поступовим підвищенням рівня конструктивної енергетичної ефективності парку транспортних засобів за умови

впровадження жорсткого технічного і фіскального регулювання у цій сфері в Україні за аналогією країн ЄС.

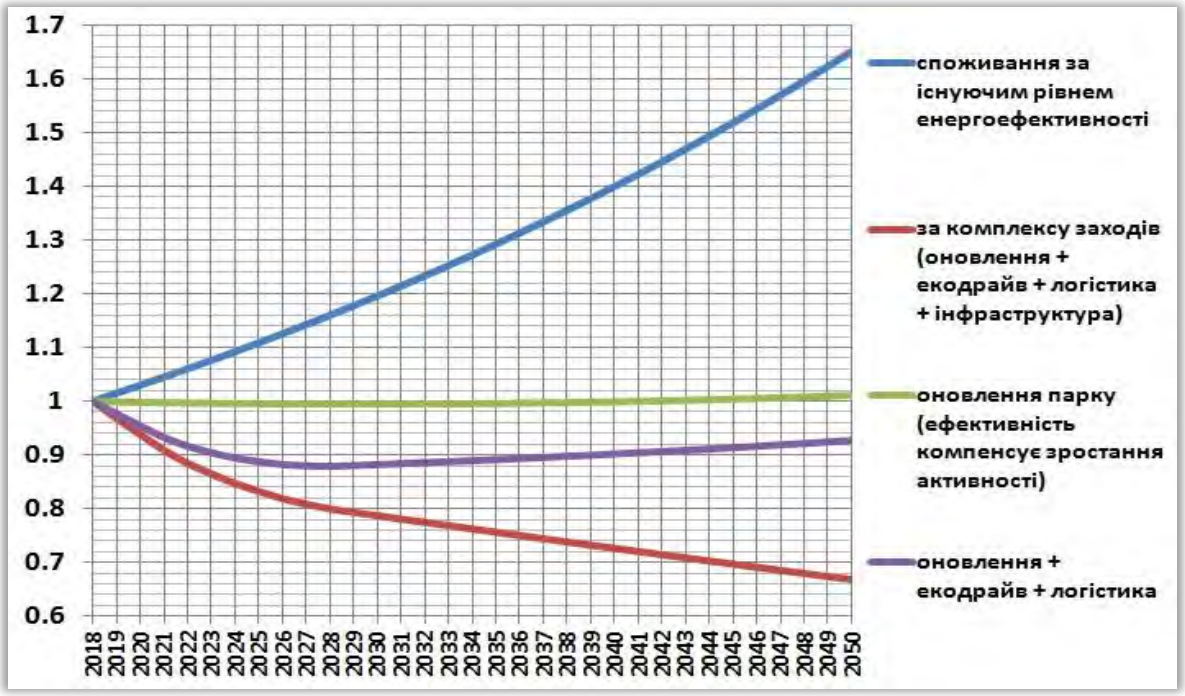


Рисунок 5.1 – Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах повільного зростання економічної та транспортної активності в Україні [379]

Реалізація всього доступного комплексу заходів з економії в наведених умовах теоретично може дозволити зменшити споживання енергії дорожнім транспортом у 2015 р. орієнтовно до 65…70% від рівня 2018 р.

Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах дещо прискореного (пропорційно загальному зростанню споживання енергії світовою економікою) зростання економічної та транспортної активності в Україні наведено на рис. 5.2.

В цих умовах, стримування росту споживання енергії транспортом та виконання наведених вище міжнародних зобов‘язань і стратегічних планів Уряду України, є можливим виключно за рахунок реалізації одночасно всього комплексу доступних заходів, що, зокрема, потребує значних інвестицій у розвиток дорожньої інфраструктури, будівництво багаторівневих

транспортних розв‘язок, винесення транзитного транспорту поза межі міст тощо.

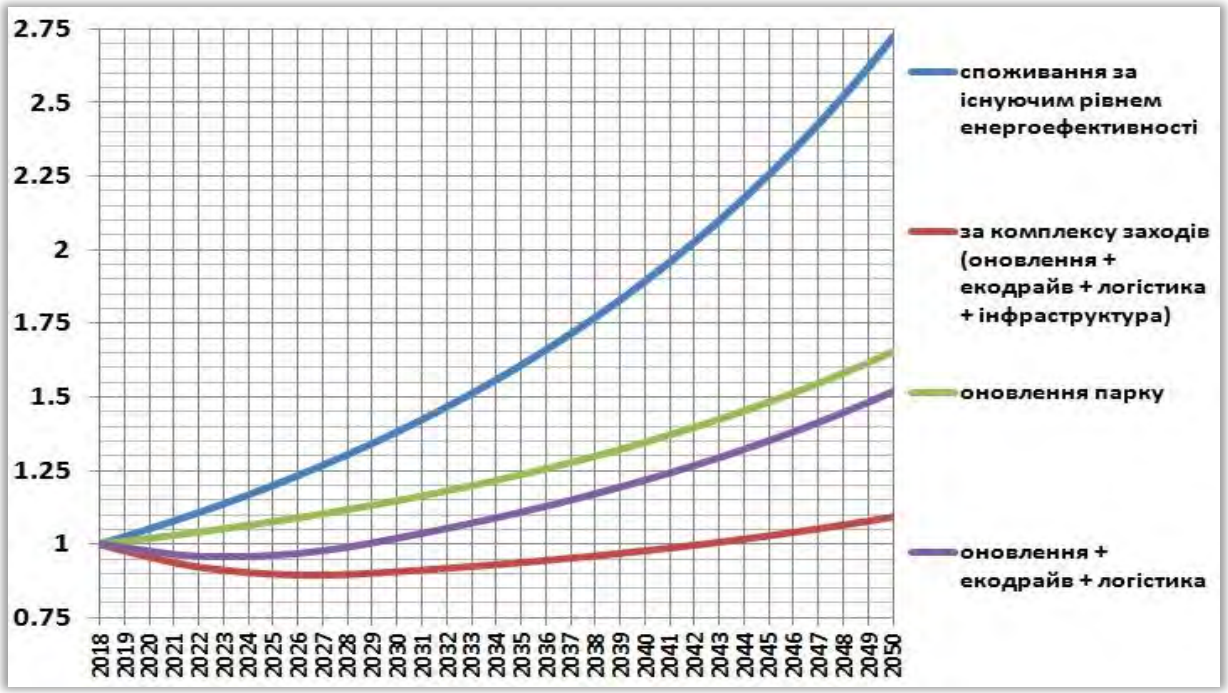


Рисунок 5.2 – Сценарії відносної зміни споживання енергії дорожнім транспортом в умовах прискореного зростання економічної та транспортної активності в Україні [379]

Аналіз розподілу внеску різних напрямів в загальну економію витрат на придбання енергії показує, що інвестиції в оновлення парку та в розвиток дорожньої інфраструктури мають переважний, але відтермінований ефект, оскільки помітний в масштабах всієї країни розвиток інфраструктури та повне оновлення парку потребують значного часу.

Наведені вище заходи з підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, розповсюджуються одразу на весь парк та мають «швидкий» ефект. Разом з тим, відносний внесок цього напряму зменшуватиметься з часом, як внаслідок поступового зростання ефекту від модернізації парку та інфраструктури, так і внаслідок поступової мінімізації впливу «людського фактору» по мірі

розвитку систем автоматизації управління транспортними засобами та транспортними потоками в цілому.

На рис. 5.3 і рис. 5.4 наведено оцінки можливої щорічної економії на енергоносіях та інтегральних сукупних витрат з початку 2018 р. (в еквіваленті млрд. євро) і складових можливої економії в умовах повільного зростання транспортної активності в Україні.

Отримані результати дозволяють зробити наступні важливі висновки [379]:

1. Комплекс заходів з підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, які перебувають в експлуатації, що не потребують значних обсягів інвестицій (у порівнянні з оновленням парку та модернізацією дорожньої інфраструктури), є порівняним за щорічним та інтегральним сукупним економічним ефектом з заходами з оновлення парку відповідно до 2025 р. та до 2029 р. орієнтовно. Інвестиції в розвиток дорожньої інфраструктури зрівняються з ними за щорічним та інтегральним економічним ефектом відповідно лише к 2031 р. та к 2041 р. орієнтовно. Наведені результати обґрунтовують доцільність кардинальної зміни ставлення суспільства і Держави до цього відносно «простого» інструменту, потенціалом якого сьогодні фактично нехтують.

2. Орієнтовний щорічний та інтегральний потенціал можливої економії на імпорті енергоносіїв для дорожнього транспорту становитиме к 2030 року відповідно до 5 млрд. євро щороку та до 40 млрд. євро сукупно за сценарієм повільного економічного зростання (до 2050 р. – відповідно до 18 млрд. євро щороку та до 300 млрд. євро сукупно). В умовах прискореного зростання економіки зазначений потенціал економії ймовірно не буде значно перевищувати оцінки за попереднім сценарієм з огляду на відкладений ефект, але к 2050 р. теоретично може становитиме вже до 30 млрд. євро щороку та до 420 млрд. євро сукупно.

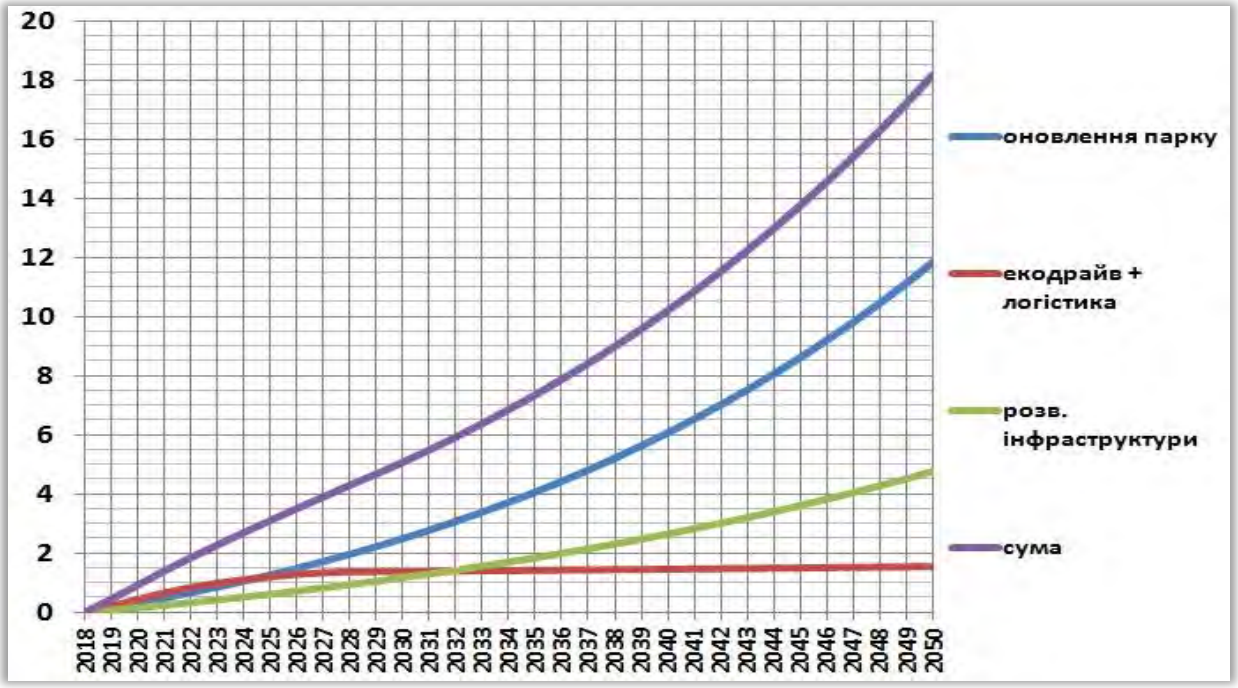


Рисунок 5.3 – Оцінки можливої економії на енергоносіях (в еквіваленті млрд. євро на рік) [379]

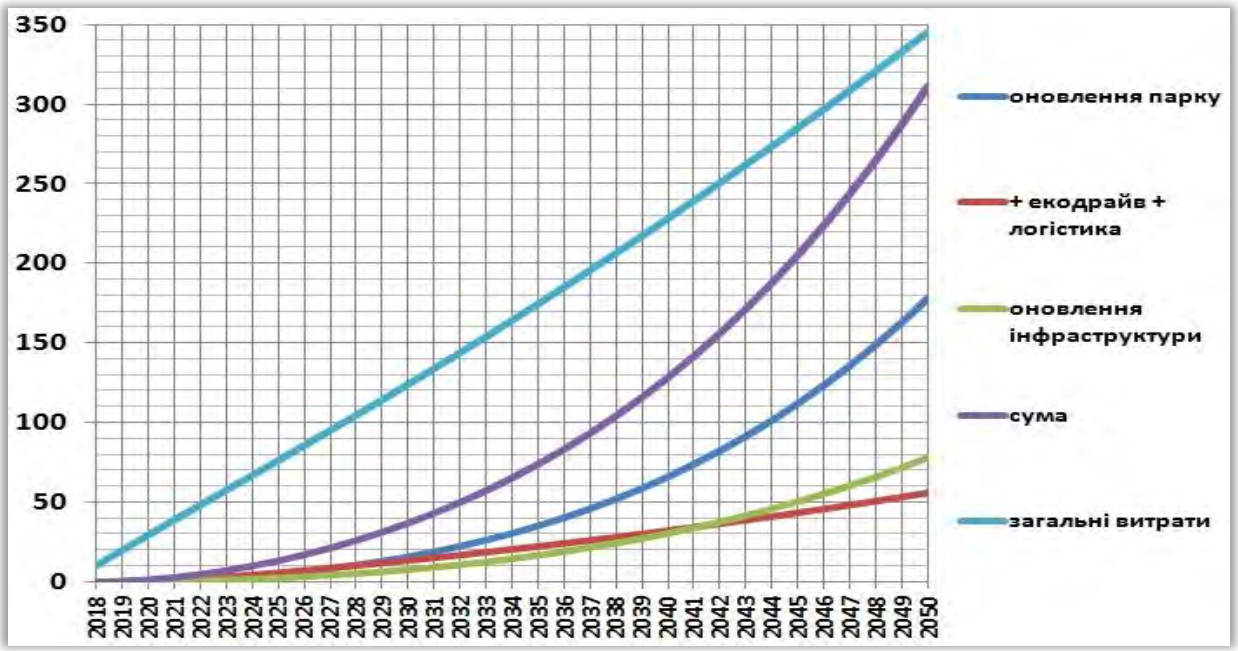


Рисунок 5.4 – Оцінки сукупних витрат на енергію та складових можливої економії на енергоносіях (в еквіваленті млрд. євро з початку 2018 р.) [379]

Економічні обмеження

Перспективи вивільнення наведених вище величезних фінансових ресурсів з закупівель енергоносіїв на перший погляд дають можливості та обґрунтовують доцільність майже «безоглядного» інвестування в новітні технології та в нову інфраструктуру. Але розвиток транспортної інфраструктури та масштабне впровадження новітніх технологій насправді мають значні економічні обмеження [379].

Як видно з рис. 5.4, сукупна економія фінансових ресурсів на придбання енергії за рахунок розвитку більш ефективної дорожньої інфраструктури може бути орієнтовно оцінена в обсязі до 75 млрд. євро за весь період з 2019 до 2050 рр. Якщо розподілити ці зекономлені кошти з розрахунку загальної протяжності мережі автодоріг в 430 тис. км, отримаємо 170 тис. євро на 1 км доріг (на всі 32 роки), або всього 5,3 тис. євро на 1 км в рік. Відомо, що існуюча дорожня інфраструктура потребує суттєвого збільшення її загальної протяжності [379].

Подальше (від вже досягнутого автовиробниками рівня) підвищення паливної економічності транспортних засобів ускладнює їх конструкцію, потребує масштабних інвестицій в новітні технології, НДДКР та в переоснащення виробництва, що збільшує собівартість техніки. При цьому залежність собівартості автомобіля від його енергетичної ефективності має нелінійний характер (кожний наступний грам економії палива дається ціною все більшого зростання вартості конструкції) [379].

Розрахунки показують, що підвищення паливної економічності «усередненого автомобіля» в поточних умовах на, наприклад, 10%, є економічно доцільним та може бути у певній мірі прийнятним для споживача, якщо це досягатиметься збільшенням його вартості не більш, ніж на 1,5…2,5 тис. євро. Наведені вище дані стосуються середнього значення для парку в цілому. Для окремого автомобіля такі оцінки визначатимуться його

категорією, щорічним пробігом, видом палива й іншими факторами, та можуть приймати різні значення в доволі широких межах [379].

Окремі питання, що також потребують розгляду, але виходять за межі цієї публікації, це стимулювання розвитку ринку біопалив, електромобілів та «гібридів» в Україні. Висвітлення проблемних питань запровадження в Україні технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами також потребує окремого детального розгляду [379].

Формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом має враховувати наведені вище чинники, спостереження та висновки. Нижче надано деякі пропозиції [379], що випливають з наведеного вище, що можуть бути покладені в основу стратегії.

Завдання зменшення споживання енергії або диверсифікації джерел її походження чи видів енергоносіїв, та/або зменшення викидів CO_2, не повинні бути «самоціллю за будь яку ціну» і мають узгоджуватися з питаннями розвитку економіки країни, екологічними та іншими аспектами. Мета державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом має бути визначена як забезпечення сталого розвитку галузі транспорту та економіки країни [379].

Задля прискореного оновлення парку на більш енергетично ефективні та екологічно сприятливі конструкції мають бути запроваджені [379]:

- узгоджені інструменти технічного та фіскального регулювання енергетичної ефективності та екологічного рівня транспортних засобів на етапі допуску (першої реєстрації), а також інструменти фіскального регулювання протягом експлуатації;
- національна система маркування енергетичної ефективності та екологічного рівня транспортних засобів;
- на основі маркування – диференційовані обмеження та преференції щодо доступу до інфраструктури, які стимулюватимуть використання

більш ефективних та екологічно сприятливих транспортних засобів (диференціація доступу та оплати за використання інфраструктурою (місця для паркування та в перспективі – платні дороги), доступу до центральних частин міст, доступу на відокремлені смуги руху громадського транспорту тощо).

При цьому регулювання енергетичної ефективності дорожніх транспортних засобів на ринку України має здійснюватися виключно на рівні кожного окремого типу, а не в рамках «квоти» загальної виробничої програми окремого автовиробника [379].

Маркування енергетичної ефективності транспортних засобів має супроводжуватися маркуванням поточного екологічного рівня з врахуванням віку і технічного стану (відповідно, повернення техогляду) та виду палива/технології (не рівнем екологічного класу «Євро» на момент виробництва) [379].

Стимулювання альтернативних видів моторних палив та джерел енергії (біопалив, електромобілів тощо) має здійснюватися виключно на основі комплексного аналізу їх ефективності з врахуванням всіх складових, зокрема, WTW-аналізу, витрат на інфраструктуру, життєвого циклу транспортного засобу тощо [379].

Ефективна реалізація потенціалу напрямів підвищення ефективності використання дорожніх транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, та підвищення ефективності транспортної системи в цілому з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури, вочевидь потребує розроблення та реалізації державних програм з відповідними масштабу проблеми обсягами бюджетного фінансування, як це здійснюють країни ЄС та інші країни світу [379].

Мають бути враховані рекомендації, розроблені міжнародною групою експертів у роботі [9], зокрема, щодо розбудови відповідної інституційної

спроможності України ефективно вирішувати це завдання, та щодо відповідної міжвідомчої координації [379].

5.2 Підходи до регулювання показників викидів CO2 та енергоспоживання нових легкових автомобілів у світі та в Україні

Підходи до регулювання показників викидів CO2 та енергоспоживання нових легкових автомобілів у світі [380 – 390] та в Україні, загальні висновки та рекомендації [380] для умов України викладено у додатку А.10.

5.3. Концепція реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів

Розв'язання виокремлених у розділі 1 проблем та вирішення відповідних, законодавчо визначених завдань, потребують розроблення та реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів.

З цією метою, автором, за дорученням Міністерства інфраструктури України, було розроблено пропозиції до проєкту «Концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів». У цій роботі у додатку А.11 наведено її окремі та інші елементи, які також опубліковано у [394 – 399].

5.4. Результати дослідження зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки

Запровадження в Україні дійової системи маркування рівня екологічної

небезпеки ДТЗ має врахувати принаймні викладені нижче чинники і проблемні питання, що потребують вирішення[1]:

1. Несумісність, а також постійна зміна з часом стандартів, вимог, показників енергетичної ефективності та екологічного рівня ДТЗ і методів їх визначення, та багатьох інших аспектів технічного й інших форм регулювання, що застосовують в різних регіонах світу, з яких ДТЗ імпортують в Україну.

Разом з тим, маркування екологічного рівня (а також енергетичної ефективності) ДТЗ в окремій країні та узгоджені з ними заходи та в цілому система технічного і, особливо, фіскального регулювання мають базуватися на єдиній «системі координат».

2. Так звані «поза-циклові» викиди та невідповідність існуючих стандартизованих показників ефективності споживання енергії та викидів забруднювальних речовин споживанню енергії та забрудненню довкілля в умовах реальної експлуатації є значною проблемою, що нівелює зусилля урядів країн до покращення ситуації з енергетичною безпекою та забрудненням довкілля транспортом, зменшує рівень довіри споживача до «офіційних» показників екологічності та енергоефективності, та у певній мірі стримує просування на ринок новітніх технологій.

3. Питання належного врегулювання масового ввезення та подальшої експлуатації ДТЗ з великим пробігом, що становлять підвищену екологічну та інші види небезпеки.

ДТЗ, що був в користуванні, який на момент виробництва відповідав, наприклад, екологічному стандарту «Євро-5», на момент ввезення в Україну може вже мати питомі викиди токсичних забруднювальних речовин набагато більшими, ніж за стандартами 20 річної давнини, та взагалі може бути

---

[1] Наведені нижче пропозиції було опубліковано автором у 2019 р. у тезах «Щодо запровадження в Україні системи маркування енергетичної ефективності та екологічного рівня дорожніх транспортних засобів» у матеріалах міжнародних конференцій «XII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» ВНТУ та «Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» ХНАДУ.

непридатним до експлуатації. Окремі питання погіршення в експлуатації екологічних властивостей ДТЗ, висвітлено, зокрема, в [397, 398].

4. Питання підтримання в експлуатації екологічного рівня, закладеного в конструкцію ДТЗ, або принаймні об'єктивної оцінки його поточного стану з метою врегулювання його подальшої експлуатації.

5. Доступ країни до сучасних технологій і методів визначення викидів забруднювальних речовин ДТЗ та показників ефективності використання енергії.

Висока складність і вартість обладнання, що є необхідним для випробовування ДТЗ та їх двигунів з визначенням викидів забруднювальних речовин та показників ефективності використання енергії відповідно до вимог сучасних міжнародних технічних регламентів є суттєвим технологічним бар'єром для України.

6. В цілому обмеженість ресурсів країни, що можуть бути залучені до реалізації комплексу заходів з запровадження системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ, як ключових напрямів зменшення в середнєстроковій перспективі багатомільярдних макроекономічних збитків від забруднення довкілля транспортом, а також виконання міжнародних зобов'язань України в цій сфері.

Як показано у розділі 1, в різних регіонах світу використовують різні та несумісні між собою «системи координат» такого регулювання. Наприклад, в країнах-членах ЄС та в США застосовують принципово різні переліки нормованих забруднювальних речовин, їх гранично допустимі значення та випробувальні процедури, за якими їх визначають під час сертифікації. Транспортні засоби з дизелями і з бензиновими двигунами одного і того ж самого екологічного рівня «Євро» не є тотожними як за гранично допустимими нормами викидів забруднювальних речовин, так і їх середніми експлуатаційними значеннями. Крім того, постійно вносять зміни в процедури і види випробувань та розширюють перелік нормованих забруднювальних

речовин.

Разом з тим, заходи з регулювання потребують певних ресурсів, та, для їх ефективного використання, регулювання в ідеалі має бути пропорційним розміру сукупного негативного впливу дорожнього транспортного засобу на довкілля. Інтегральною оцінкою цього впливу можуть бути сумарні, зведені до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності викиди забруднювальних речовин.

Дослідження зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро», а також електромобілів, в єдиній «системі координат», визначених за широким переліком основних забруднювачів, надає основу для покращення технічного та фіскального регулювання в цій сфері.

В роботі [9] виконано аналіз світового досвіду технічного і фіскального регулювання викидів CO_2 і енергетичної ефективності дорожнього транспорту, та надано розгорнуті пропозиції щодо його подальшого поширення. Показано необхідність державного регулювання в цій сфері. Але недостатньо уваги було приділено аспекту так званого локального забруднення транспортом токсичними речовинами, що має бути невід'ємною складовою. Системний огляд стандартів у сфері регулювання викидів наведено, зокрема, в [399], що доводить несумісність стандартів і підходів різних регіонів світу. Та ця проблема потребує вирішення.

В джерелах [400–403] надано аналіз існуючих сьогодні фіскальних заходів регулювання в цій сфері, який показує велике їх розмаїття та практичну несумісність, що також є бар'єром в розвитку міжнародній торгівлі. Більш ніж в половині європейських країн податки на придбання та/або володіння транспортними засобами є прямо або опосередковано диференційованими залежно від екологічного рівня [400]. В ЄС використовують як рівень стандарту на викиди токсичних забруднювальних речовин, так і викиди CO_2, показники паливної економічності, а також вік

транспортного засобу. Також використовують у різних комбінаціях об‘єм двигуна, потужність, вид палива, вагу транспортного засобу, кількість осей тощо. Майже всі країни використовують індивідуальну систему диференційованого оподаткування та несумісні між собою набори показників в її основі [400].

Критичний аналіз систем регулювання, що ґрунтуються переважно на показниках питомих викидів CO_2 та паливної економічності, наведено в [398], а стислий огляд стандартів – в [402]. Отримані під час сертифікації показники питомих викидів CO_2 та паливної економічності все частіше не тільки не відображають реальні викиди CO_2 та споживання енергії в експлуатації, але й скоріше вводять в оману споживача та державні органи. Спирання виключно на викиди CO_2 є недостатньо ефективним також і з огляду на технології електричних автомобілів, де викиди CO_2 під час генерації енергії потребують окремого врахування, та залежать від структури електричної генерації країни. Разом з тим, застосування системи диференційованих податків та скидок вважають ефективним інструментом [403].

В [379] автором було запропоновано впровадження маркування енергетичної ефективності дорожніх транспортних засобів одночасно, тобто в рамках єдиної системи, з маркуванням саме поточного рівня екологічної небезпеки.

Інші заходи, що стимулюватимуть інвестування в якісне оновлення парку і новітні технології, примушуватимуть до використання в місцях масового зосередження людей переважно техніки, що завдає мінімальної шкоди здоров‘ю населення, висвітлено в джерелах [404–408]. Сформульована в [404] позиція Європейської асоціації виробників автомобілів (ACEA) містить схеми, принципи, підходи та критерії до впровадження зон з низькою емісією («зелених зон»). Разом з тим, рекомендація [404] використовувати безпосередньо екологічний рівень «Євро» суперечить одному з задекларованих базових принципів в частині пропорційності заходів, оскільки

не враховує технологію та фактичний рівень забруднення.

Європейські міста у 2018 р. налічували загалом вже 260 «зелених зон», розгорнутий аналіз досвіду впровадження яких наведено в [405]. Доступ до «зелених зон» в багатьох містах є диференційованим не тільки за класом «Євро», але і з врахуванням виду палива, технології, та/або маси транспортного засобу тощо. Досвід Брюсселя в цьому напряму наведено в [406] та очікувані результати – в [407], що цілком доводять доцільність запровадження «зелених зон». Але різні міста використовують різні та несумісні підходи, що є проблемою. Зазначено також проблему регулювання допуску автомобілів з іноземною реєстрацією. В [408] наведено розгорнутий аналіз міжнародного досвіду та пропозиції щодо впровадження маркування транспортних засобів за екологічним рівнем та рівнем енергоефективності, у тому числі – у розрізі необхідних організаційних заходів. Враховано також рівень шуму та питання утилізації і повторного використання конструкційних матеріалів. Але залишається відкритим питання регулювання транспортних засобів, що імпортують з північно-американського ринку.

В цілому світовий досвід свідчить про доцільність впровадження так званих зелених зон в містах. Пропозиції щодо запровадження регулювання показників викидів CO_2 та енергоспоживання нових легкових автомобілів та легкого комерційного транспорту наведено, зокрема, в [380].

Несумісність стандартів і підходів, що застосовують різні країни в різних регіонах світу, де, зокрема, виробляють автомобілі, потребує створення відповідної методологічної основи для подолання цих бар’єрів і запровадження більш ефективних інструментів регулювання на єдиній основі.

Уявляється доцільним розглянути можливості відмови від поточної практики (та законодавчих вимог) встановлення мінімального рівня екологічних норм «Євро» до дорожніх транспортних засобів на момент ввезення та першої державної реєстрації. Більш ефективним може бути запровадження визначення та маркування саме поточного екологічного рівня

транспортного засобу з врахуванням віку, технічного стану та інших чинників. Одночасно має бути введено справедливу фіскальну політику відповідно до практики країн-членів ЄС з диференційованим залежно від поточного екологічного рівня та рівня енергоефективності й інших чинників оподаткуванням придбання та володіння транспортним засобом. Мають бути введені також диференційовані обмеження та преференції щодо доступу до інфраструктури з використанням принципу «забруднювач платить». Мається на увазі принципова можливість та/або вартість доступу до центральних частин міст та визначених місцевими громадами «зелених зон», вартість паркування, доступу на відокремлені смуги руху громадського транспорту тощо.

Дійова система маркування рівня екологічної небезпеки дорожніх транспортних засобів не може ґрунтуватися безпосередньо на позначенні екологічних норм «Євро», яким транспортний засіб відповідав на момент виробництва, оскільки:

1) транспортні засоби в рамках одного рівня норм «Євро», що використовують різні види палив, істотно відрізняються за рівнем викидів токсичних забруднювальних речовин;

2) порядкові цифри норм «Євро» характеризують лише послідовні етапи впровадження все більш жорстких екологічних вимог, але не відносну зміну гранично допустимих викидів;

3) гранично допустимі норми викидів за стандартами «Євро», що підтверджують в штучних лабораторних умовах, та викиди в реальній експлуатації, як правило, суттєво відрізняються в сторону збільшення останніх;

4) ефективність систем зниження токсичності двигунів істотно зменшується з часом [397, 398], особливо якщо ці системи вже спрацювали свій ресурс, чи є технічно несправними;

5) транспортний засіб може бути переобладнаний в експлуатації для

використання, наприклад, газового палива, що може змінювати зведені викиди ним забруднювальних речовин в сторону істотного збільшення у порівнянні з базовою модифікацією. Це зумовлено тим, що виробники тонко налаштовують конструкцію транспортного засобу для її відповідності жорстким екологічним нормам на конкретному паливі. Зміна виду палива потребує складних додаткових доводочних робіт для забезпечення відповідності екологічним нормам. Але для цього необхідне високотехнологічне та високовартісне обладнання, що є недоступним, якщо таке переобладнання здійснюють в експлуатації;

6) транспортні засоби імпортують в Україну з різних ринків, на яких діють практично несумісні системи технічного регулювання (найбільш яркий приклад – автомобілі, що імпортують з США, які не мають європейського підтвердження типу);

7) у випадку вантажних автомобілів та автобусів, валові викиди забруднювальних речовин та, відповідно, збитки довкіллю є вираженою функцією не тільки питомих викидів на одиницю корисної роботи двигуна (у г/кВт×год), але й транспортної роботи;

8) електромобілі також є джерелом викидів забруднювальних речовин, в основному – через зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальм, та доцільно розглядати їх з «традиційними» транспортними засобами в одній системі координат.

Отже, вирішення висвітлених в [9, 379, 399 – 407] та інших, наведених вище проблем, уявляється доцільним на основі розроблення принципово нової основи для запровадження системи класифікації та маркування екологічної небезпеки транспортних засобів. Вона має базуватися саме на сумарних зведених викидах на одиницю пробігу та транспортної роботи основних видів забруднювальних речовин з врахуванням виду палива.

Метою роботи в цій частині є дослідження зведених масових усереднених експлуатаційних викидів забруднювальних речовин дорожніми

транспортними засобами (ДТЗ) європейських екологічних класів від «Євро-0» до «Євро-6» та електромобілів в єдиній системі координат, як основи наступного розроблення системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– встановити для найбільш вагомих та досліджених на сьогоднішній час забруднювальних речовин, джерелами викидів яких є дорожній транспорт, коефіцієнти відносної шкідливості для використання в розрахунках масових викидів, зведених до монооксиду вуглецю;

– визначити в єдиній системі координат зведені масові викиди забруднювальних речовин як від традиційного транспорту з двигунами внутрішнього згоряння, так і від електромобілів;

– здійснити аналіз характеру еволюції зведених викидів транспортних засобів різного технологічного рівня та їх співставлення з врахуванням виду палива (енергоносія);

– розробити загальні принципи запровадження універсальної системи маркування рівня екологічної небезпеки ДТЗ.

Методика розрахунку зведених викидів забруднювальних речовин

Сумарні зведені викиди $\sum \mathbf{CO_{зв}}$ (г/км) основних видів забруднювальних речовин розраховують ґрунтуючись на коефіцієнтах їх відносної шкідливості ($К_ш$) відносно оксиду вуглецю, відповідно до підходу, викладеного в [409], що набув широкого використання:

$$\sum \mathbf{CO_{зв}} = \sum_{i=1}^{n} m(i) \times К_ш(i), \qquad (1)$$

де $\sum \mathbf{CO_{зв}}$ – сумарні зведені викиди основних видів забруднювальних речовин (в умовних грамах оксиду вуглецю (CO), шкідливість (агресивність) якого прийнято за одиницю, г/км; $m(i)$ – масові викиди ***i***-й забруднювальної речовини, г/км; $К_ш(i)$ – коефіцієнт відносної шкідливості ***i***-й забруднювальної

речовини (відносно оксиду вуглецю (CO)); *n* – загальна кількість видів забруднювальних речовин, що враховують.

Доцільно розраховувати масові викиди на одиницю пробігу широкого переліку забруднювальних речовин, які є наближеними до саме реальних експлуатаційних викидів, на відміну від граничнодопустимих викидів за нормами «Євро». Такі викиди можуть бути розраховані на основі, наприклад, методології Європейського агентства навколишнього середовища [410, 411], що використовують в багатьох країнах ЄС в цілях інвентаризації викидів забруднювальних речовин дорожнім транспортом. Відповідні методології також можуть бути використані для розрахунку викидів транспортних засобів з північноамериканського ринку та з інших ринків, що не мають європейського затвердження типу. В цьому досліджені наведено результати розрахунків за формулою (1) зведених викидів з використанням викидів окремих забруднювальних речовин, встановлених в [410, 411], та коефіцієнтів відносної шкідливості, встановлених у розділі 5 нижче.

Встановлення значень коефіцієнтів відносної шкідливості забруднювальних речовин

В цій роботі з переліку забруднювальних речовин, що враховано в [410, 411], використано 64 забруднювальні речовини, які є найбільш впливовими з точки зору визначення сумарної токсичності викидів.

Коефіцієнти відносної шкідливості забруднювальних речовин встановлено на підставі аналізу наявних даних [412–418] щодо граничнодопустимих концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів та у повітрі робочої зони, а також даних [409]. Прийняті за співвідношенням гранично допустимих концентрацій 64-х основних забруднювальних речовин та оксиду вуглецю значення коефіцієнтів відносної шкідливості ($К_ш$) представлено в табл. 5.1 [395, 393]. Для зручності використання їх зведено у 8 груп.

Таблиця 5.1

Коефіцієнти відносної шкідливості ($К_ш$) відносно оксиду вуглецю 64-х основних забруднювальних речовин [395, 393].

Позначення (формула)	Назва англійською	Назва українською	$К_ш$
Група I:	Gaseous components that make up the bulk of the exhaust emissions of internal combustion engines	Газоподібні компоненти, що складають основну частину масових викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння	–
CO	carbon monoxide	оксид вуглецю (монооксид вуглецю)	1
CO_2	carbon dioxide	діоксид вуглецю	0,0022
NO_x	oxides of nitrogen	оксиди азоту	75
N_2O	nitrous oxide	закис азоту	188
NH_3	ammonia	аміак	75
«LHC»	«light hydrocarbons»	«легкі вуглеводні»	3,16
Група II:	Aldehydes	Альдегіди	–
CH_2O/H_2CO	formaldehyde	формальдегід	1000
C_2H_4O/CH_3CHO	acetaldahyde	ацетальдегід	300
$C_3H_4O/CH_2{=}CHCHO$	acrolein	акролеїн	100
C_7H_6O/C_6H_5CHO	benzaldehyde	бензальдегід	50
$C_4H_6O/CH_3CH{=}CHCHO$	crotonaldehyde	кротональдегід	5

Позначення (формула)	Назва англійською	Назва українською	$К_ш$
$C_4H_6O/CH_2=C(CH_3)$	methacrolein	метакролеїн	5
$C_4H_8O/CH_3(CH_2)_2CHO$	butyraldehyde	бутиральдегід	5
$C_4H_8O/(CH_3)_2CHCHO$	isobutanaldehyde	ізобутанальдегід	5
C_3H_6O/CH_3CH_2CHO	propionaldehyde	пропіональдегід	5
$C_6H_{12}O/CH_3(CH_2)_4CHO$	hexanal	гексанал	5
$C_5H_{10}O/CH_3(CH_2)$	i-valeraldehyde	і-валеральдегід	5
$C_5H_{10}O/CH_3(CH_2)$	valeraldehyde	валеральдегід	5
$C_8H_8O/CH_3C_6H_4CHO$	o-tolualdehyde	о-толуальдегід	5
$C_8H_8O/CH_3C_6H_4CHO$	m-tolualdehyde	м-толуальдегід	5
$C_8H_8O/CH_3C_6H_4CHO$	p-tolualdehyde	р-толуальдегід	5
Група III:	Ketones	Кетони	
$C_3H_6O/CH_3\text{-}CO\text{-}CH_3$	acetone	ацетон	8,57
$C_4H_8O/CH_3\text{-}C\text{-}CH_2\text{-}CH_3$	methylethlketone	метил етилкетон	5
Група IV:	Aromatics	Ароматика	–
$C_7H_8/C_6H_5CH_3$	toluene	толуол	5
$C_8H_{10}/C_6H_5C_2H_5$	ethylbenzene	етилбензол	150
$C_8H_{10}/C_6H_4(CH_3)_2$	m,p-xylene	м, р-ксилол	15
$C_8H_{10}/C_6H_4(CH_3)_2$	o-xylene	о-ксилол	15
$C_9H_{12}/C_6H_3(CH_3)$	1,2,3 trimethylbenzene	1,2,3 триметилбензол	100

Позначення (формула)	Назва англійською	Назва українською	$К_ш$
$C_9H_{12}/C_6H_3(CH_3)_3$ (asym.)	1,2,4 trimethylbenzene	1,2,4 триметилбензол	200
$C_9H_{12}/C_6H_3(CH_3)_3$ (sym.)	1,3,5 trimethylbenzene	1,3,5 триметилбензол	300
$C_8H_8/C_6H_5CH{=}CH_2$	styrene	стирол	1500
C_6H_6	benzene	бензол	30
C_9	C_9	C_9	5
C_{10}	C_{10}	C_{10}	10
C>13	C>13	C>13	20
Група V («PAHs & POPs»):	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and persistent organic pollutants (POPs) («PAHs & POPs»)	Поліциклічні ароматичні вуглеводні та стійкі органічні забруднювачі	–
$C_{22}H_{12}/C_{22}H_{10}O_2$/ ID(1,2,3,cd)P	indeno(1,2,3-cd)pyrene	індено(1,2,3)пірен	1500000
$C_{20}H_{12}/C_{20}H_{10}O_2$/B(k)F	benzo(k)fluoranthene	бензо(к)фторантен	3000000
$C_{20}H_{12}$/B(b)F	benzo(b)fluoranthene	бензо(б)фторантен	3000000
$C_{20}H_{12}$/B(a)P	benzo(a)pyrene	бензо(а)пірен	3000000
Група VI («PM»):	Particulate Matter – PM	Частинки	–
«BC»	black carbon	«сажа»	41,5
$PM_{2.5}$ petrol	PM (<2,5 μm)	частинки (<2,5 мкм)	300

Позначення (формула)	Назва англійською	Назва українською	$К_ш$
	originated from petrol engines exhaust gases	у складі відпрацьованих газів (ВГ) двигунів, що живляться бензином	
$PM_{2.5}$ diesel	PM (<2,5 µm) originated from diesel engines exhaust gases	частинки (<2,5 мкм) у складі відпрацьованих газів (ВГ) дизелів	200
$PM_{2.5}$ tyre	PM (<2,5 µm) originated from pneumatic tire wear products	частинки (<2,5 мкм) у складі продуктів зношування пневматичних шин	100
$PM_{2.5}$ brake	PM (<2,5 µm) originated from brake wear products	частинки (<2,5 мкм) у складі продуктів зношування гальм	150
$PM_{2.5}$ road	PM (<2,5 µm) originated from road surface wear products	частинки (<2,5 мкм) у складі продуктів зношування дорожнього покриття	50
Група VII:	Sulfur compound	З’єднання сірки	
SO_{4--}	sulfates	сульфати	30
SO_2	sulfur dioxide	діоксид сірки	22
Група VIII («MS»):	Metals and its compounds – «MS»	Метали та з’єднання металів	–
Cd	cadmium	кадмій	2000
Cu	copper	мідь	40
Cr	chromium	хром	1000

Позначення (формула)	Назва англійською	Назва українською	$К_ш$
Ni	nickel	нікель	4000
Se	selenium	селен	200
Zn	zinc	цинк	40
Hg	mercury	ртуть	4000
As	arsenic	миш'як	2000
Fe	iron	залізо	75
Mg_{2+}	magnesium ion	іон магнію	60
Mo	molybdenum	молібден	150
Sb	antimony	сурма	150
Si	silicon	кремній	60
Sn	tin	олово	150
Ti	titanium	титан	20
Pb	lead	свинець	400
$C_8H_{20}Pb$	tetraethyllead	тетраетилсвинець	224000

Запропонований перелік основних забруднювачів дозволяє об'єктивно порівнювати сумарну токсичність транспортних засобів різного технологічного рівня, що використовують різні джерела енергії.

Результати розрахунку зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро» та електромобілями

Результати розрахунків за формулою (1) та на основі прийнятих в роботі значень коефіцієнтів шкідливості наведено нижче у графічних матеріалах (опублікованих автором в [396]), де застосовано такі скорочення типів транспортних засобів та палив:

– «Е0», «Е1» і далі – відповідно екологічні рівні «Євро-0», «Євро-1» і далі

для легкових автомобілів і легкого комерційного транспорту (для спрощення використано виключно арабські цифри для позначення екологічного рівня як легкових автомобілів, так і автобусів);

– «PC» – Passenger Cars (легкові автомобілі);

– «EV» – Electrical Vehicles (електричні автомобілі);

– «EV(R)» – Electrical Vehicles (Clean Recuperation) (електричні автомобілі майбутнього покоління з близьким до 100 % використанням системи рекуперації енергії під час гальмування;

– «LDV» – Light Duty Vehicles (легкі вантажні та комерційні автомобілі);

– «HDV» – Heavy Duty Vehicles (важкі транспортні засоби);

– «UB» – Urban Buses (міські автобуси великої місткості);

– «L» – транспортні засоби категорії L (мопеди та мотоцикли);

– «P» – Petrol (бензин);

– «D» – Diesel oil (дизельне паливо).

На рис. 1, 2 наведено зведені до CO сумарні викиди забруднювальних речовин $\sum CO_{зв}$ (г/км) відносно новими (в межах 30…60 тис. км з момент початку експлуатації) легковими автомобілями, залежно від екологічного класу «Євро», та електромобілів.

На рис. 5.5 – рис. 5.10 [396] наведено зведені до CO сумарні викиди забруднювальних речовин відповідно новим легким комерційним транспортом, транспортними засобами категорії L, вантажівками та автобусами в г/км, а також зведені до одиниці повної маси.

Валові викиди забруднювальних речовин комерційним транспортом є в значній мірі функцією також і маси, відповідно, транспортної роботи, що має бути враховано в одній системі координат. Зведення питомих викидів ані до одиниці транспортної роботи, ані до повної маси транспортного засобу не дозволяє зробити це в зручний для практичного використання спосіб. Зведення питомих викидів, розрахованих на основі визнаної багатьма країнами світу методології Європейського агентства навколишнього

середовища [410], до квадратного кореня від повної маси транспортного засобу надає цілком задовільні результати.

Аналіз зведених викидів транспортних засобів різного технологічного рівня

Зведені сумарні викиди сучасними легковими автомобілями рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами лише в 4 рази перевищують зведені викиди сучасних електромобілів (прийнято, що останні складаються з продуктів зносу шин, дорожнього покриття та гальм). Зведені викиди легкових автомобілів рівня «Євро-6++» з дизелями в два рази є більшими, ніж від легкових автомобілів рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами..

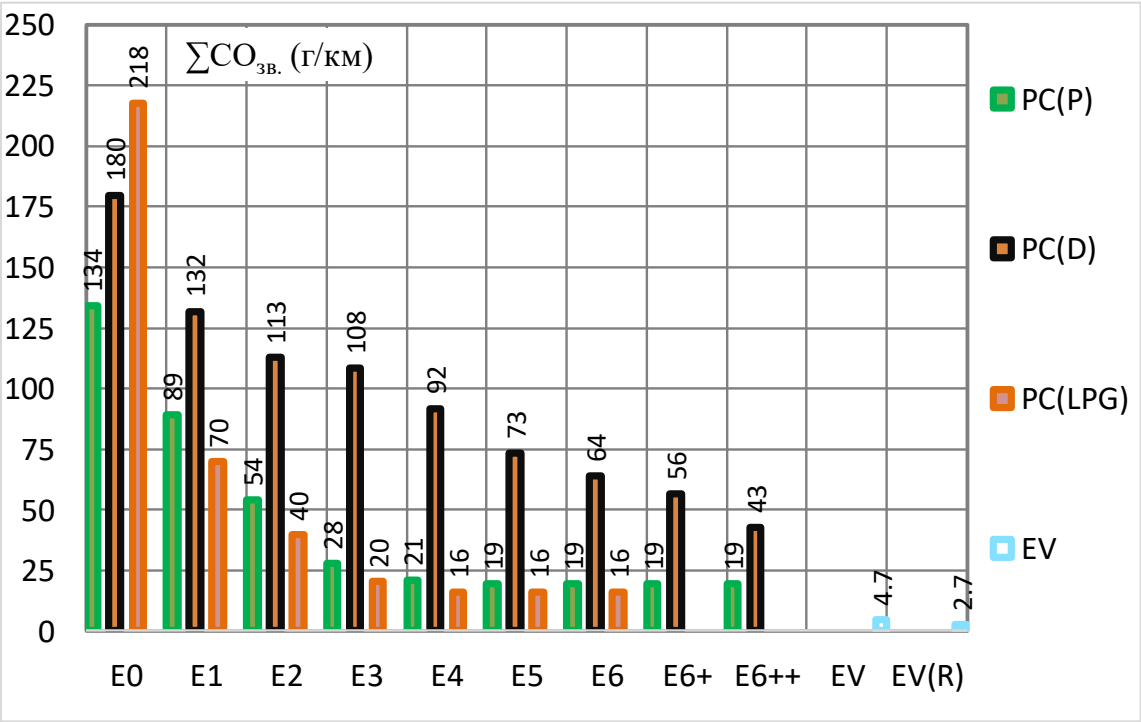


Рисунок 5.5 – Зведені до CO сумарні викиди легковими автомобілями (г/км) [396]

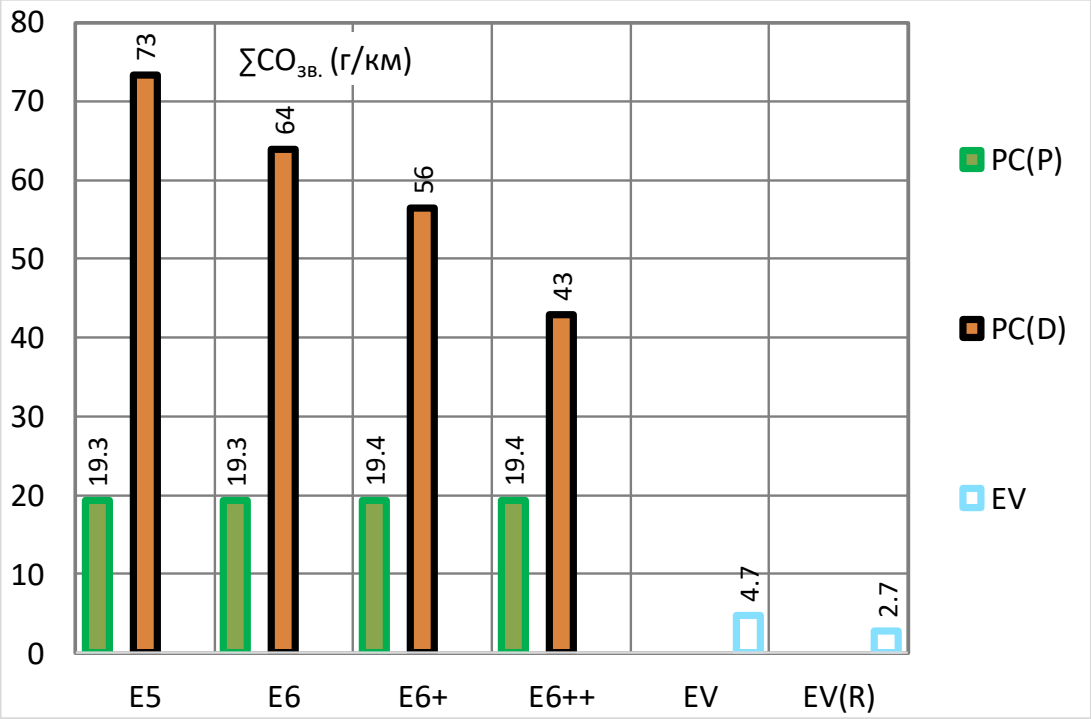


Рисунок 5.6 – Зведені до СО сумарні викиди легковими автомобілями екологічних класів «Євро-5» – «Євро6» (Євро6++ з дизелями) у порівняні з електромобілями (г/км) [396]

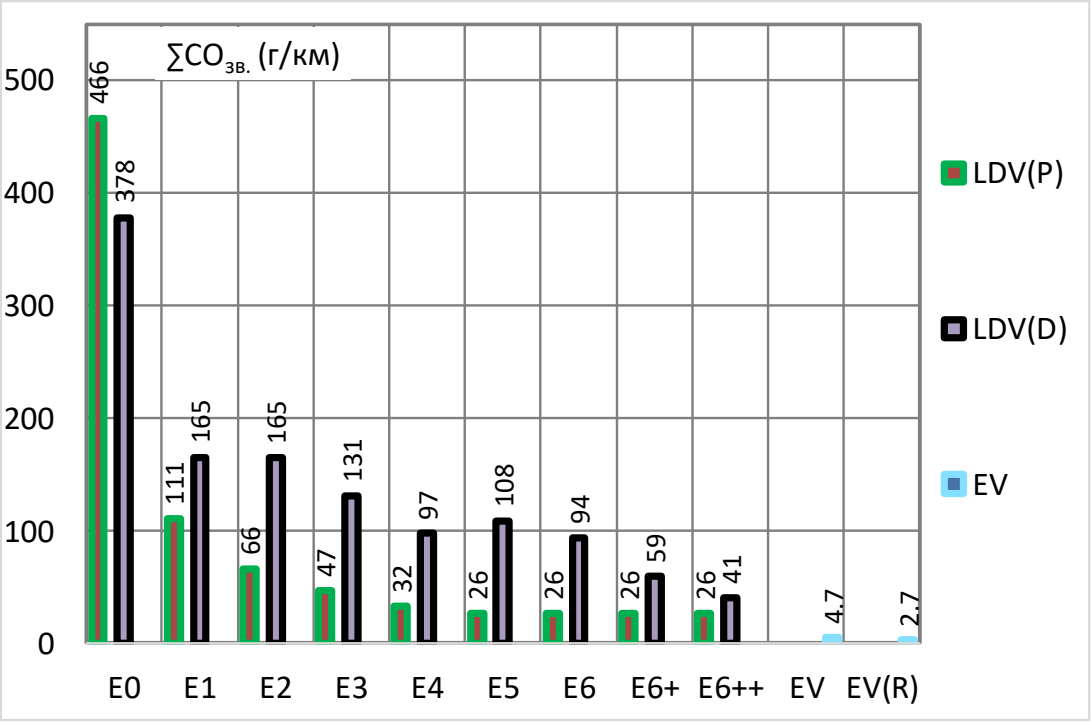


Рисунок 5.7 – Зведені до СО сумарні викиди легким комерційним транспортом (г/км) [396]

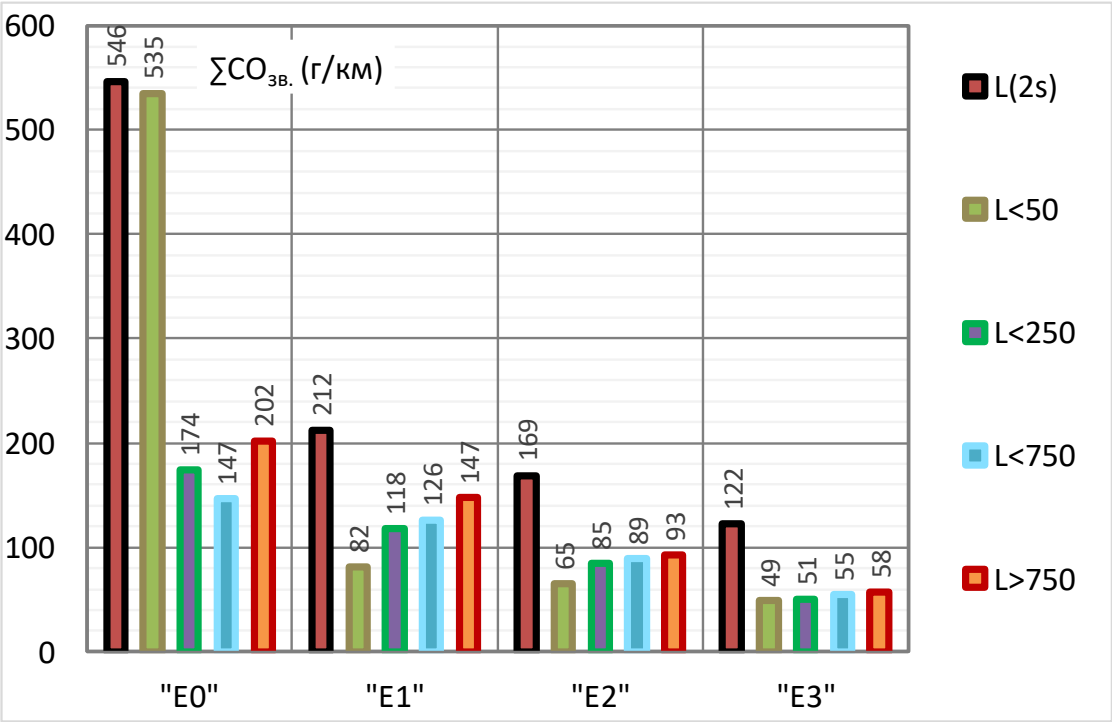


Рисунок 5.8 – Зведені до СО сумарні викиди ТЗ категорії L (мопеди та мотоцикли) [396]

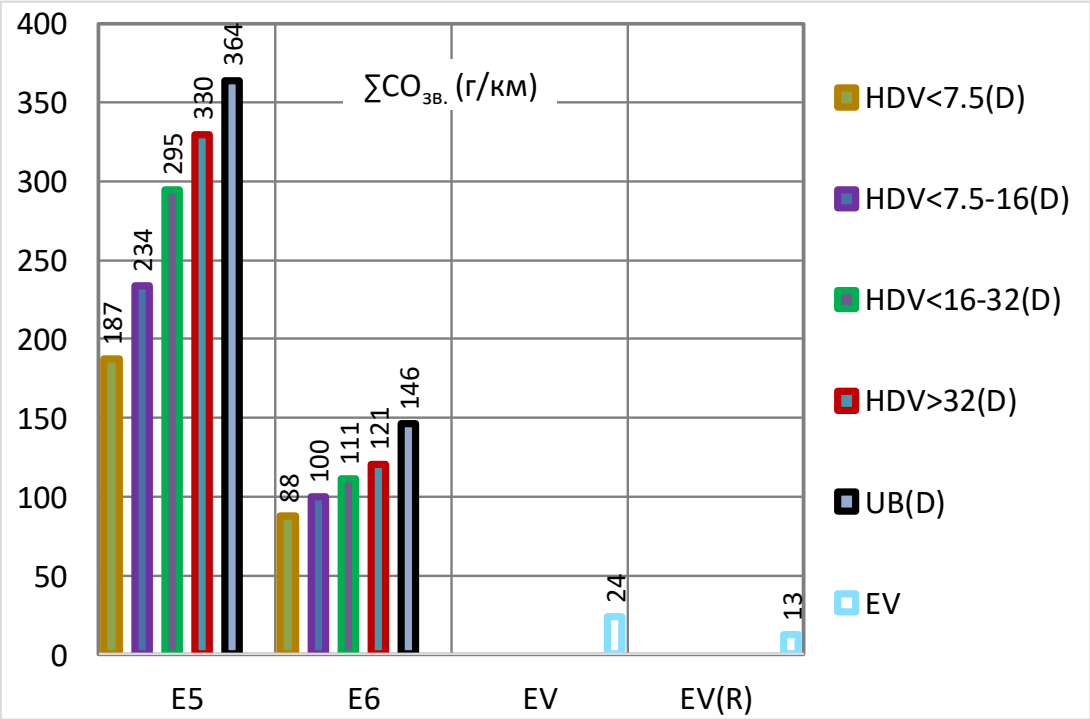


Рисунок 5.9 – Зведені до СО сумарні викиди вантажівками та міськими автобусами екологічних класів «Євро-5» – «Євро6» з дизелями [396] у порівняні з електромобілями (г/км)

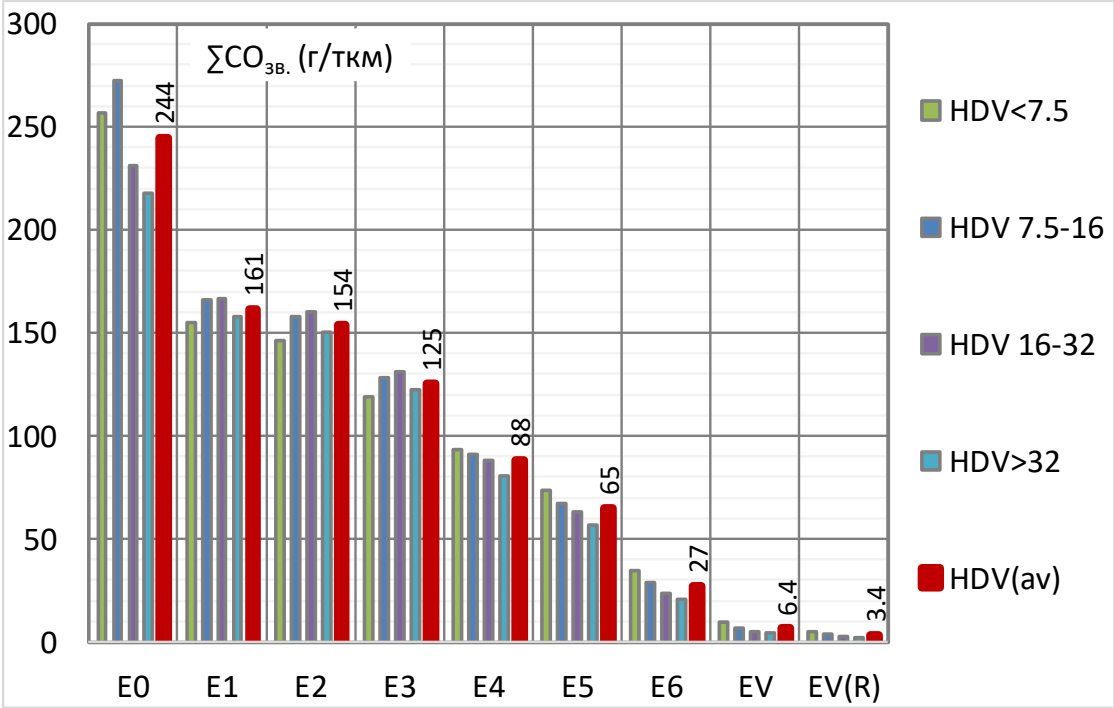


Рисунок 5.10 – Зведені до СО питомі сумарні викиди важким комерційним транспортом HDV різної повної маси в тонах (г/ткм) («av» – усереднено) [396]

Найбільший прогрес останніми роками в зниженні викидів токсичних речовин демонструє важкий комерційний транспорт. Сучасні вантажівки та міські автобуси рівня «Євро-6» викидають в середньому лише в 5 разів більше зведених викидів, ніж електричний транспорт. Викиди від електричного транспорту представлено в дещо спрощеному виді відповідно до даних [411] (мають також бути додатково диференційовані за масою транспортного засобу та колісною формулою).

При цьому викиди транспортними засобами категорії L можуть істотно перевищувати викиди легкових автомобілів та навіть автобусів та вантажівок.

Представлені вище усереднені зведені викиди відповідають відносно новим транспортним засобам, тобто лише в межах початкової частини пробігу та періоду експлуатації, в яких виробники мали та мають забезпечувати відповідність встановленим стандартам на викиди відповідно до вимог

міжнародних технічних регламентів (питомі викиди за методологією Європейського агентства навколишнього середовища [410] визначено для відносно нових транспортних засобів з середнім пробігом в межах всього 30…60 тис. км, та, відповідно до результатів масштабного дослідження [397, 398], викиди транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, можуть значно перевищувати нормативні значення, встановлені як під час сертифікації нової продукції, так і встановлені як гранично допустимі значення, за якими мала б відповідно спрацьовувати індикація несправностей системою бортової діагностики (OBD)).

По мірі збільшення віку транспортного засобу та відпрацювання встановленого ресурсу систем контролю токсичності, його зведені викиди збільшуватимуться. Це має бути враховано множенням зведених викидів «ЗВ» певного рівня нового автомобіля на усереднений коефіцієнт, пропорційний віку автомобіля (з розрахунку середньостатистичних щорічних пробігів певної категорії), з поступовим переведенням транспортного засобу до більш високого рівня екологічної небезпеки.

Збільшення викидів забруднювальних речовин по мірі збільшення віку транспортного засобу та відпрацювання встановленого ресурсу систем контролю токсичності досліджено, зокрема, в роботах [410, 411, 397, 398, 419 – 436], результати яких є в значній мірі фрагментарними, суперечливими та показують широкий розподіл отриманих залежностей, які є функцією від багатьох факторів.

Разом з тим, наявні дані дозволяють визначити усереднені значення коефіцієнтів погіршення за замовченням в рамках єдиної, логічно організованої, та дещо спрощеної системи в цілях технічного та фіскального регулювання. Оскільки показання лічильників пробігу (одометрів) транспортних засобів можуть зазнавати несанкціонованих змін, єдино можливим на практиці шляхом є визначення таких коефіцієнтів в функції саме від віку транспортного засобу, ґрунтуючись на усереднених річних пробігах

транспортних засобів різних категорій. Такі коефіцієнти, визначені за замовченням, мають відображати помірні оцінки усереднених значень інтенсивності погіршення екологічних властивостей [393].

Також має бути надана можливість використання індивідуальних коефіцієнтів погіршення з врахуванням особливостей конструкції транспортного засобу та інших факторів, якщо завод виробник надаватиме відповідні дані з їх належним обґрунтуванням.

Визначені за замовченням усереднені коефіцієнти погіршення (DF) є диференційованими залежно від екологічного (та, відповідно, технологічного) рівня транспортного засобу, характеризують відносне збільшення зведених масових викидів забруднювальних речовин протягом одного року, мають використовуватися за відсутності інших даних. Їх значення наведено в табл. 5.2 – 5.4. Для транспортних засобів категорії L може бути прийняте усереднене значення за замовченням на рівні 0,1 [393].

Поточне значення зведених викидів транспортного засобу ($ЗВ_П$, г/км), таким чином, розраховують виходячи з базового значення для нового автомобіля ($ЗВ_Б$, г/км), визначеного за формулою (1), скоригованого залежно від віку (Y, роки) за формулою (2) з використанням коефіцієнту погіршення (DF) [393].

$$ЗВ_П = ЗВ_Б \times (1 + DF \times Y) \quad (2)$$

Таблиця 5.2

Усереднені значення коефіцієнтів погіршення (DF) для легкових автомобілів і легкого комерційного транспорту з бензиновими і газовими двигунами [393]

Екологічний рівень l	Euro-0	Euro-1	Euro-2	Euro-3	Euro-4	Euro-5	Euro-6
DF	0,17	0,13	0,1	0,08	0,07	0,06	0,05

Таблиця 5.3

Усереднені значення коефіцієнтів погіршення (DF) для легкових автомобілів і легкого комерційного транспорту з дизелями [390]

Екологічний рівень	Euro-0	Euro-1	Euro-2	Euro-3	Euro-4	Euro-5	Euro-6
DF	0,14	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03

Таблиця 5.4

Усереднені значення коефіцієнтів погіршення (DF) для важких транспортних засобів (вантажівок та автобусів) [390]

Екологічний рівень	Euro-0-4	Euro-5-6
DF	0,15	0,1

Отримані результати дозволяють запропонувати універсальну, зручну та ефективну систему класифікації поточних рівнів екологічної небезпеки (РЕН) та відповідного маркування транспортних засобів різних категорій, приклади якої представлено у табл. 5.5 і табл. 5.6 [393].

З точки зору практичного впровадження (у тому числі – адміністрування) фіскальних та інших заходів регулювання, прив‘язаних до розміру збитку, що транспортний засіб завдає через викиди забруднювальних речовин під час руху, найбільш оптимальним є використання дискретних базових рівнів екологічної небезпеки з кроком збільшення сумарних зведених викидів, що дорівнює 1,259 рази. Саме такий крок в 1,259 рази виявився оптимальним серед всіх інших варіантів з точки зору охоплення в єдиній системі як електромобілів, так і застарілих транспортних засобів, що, з одній точки зору, надає також мінімально можливу загальну кількість кроків для практичного її представлення, та, з іншої точки зору, дозволяє в достатній для практики мірі диференціювати транспортні засоби різного технологічного рівня, у тому числі, надавши резервні рівні для диференціації та стимулювання впровадження наступних поколінь транспортних засобів з двигунами

внутрішнього згоряння та гібридів, по мірі їх наближення за сумарними зведеними викидами до електромобілів [393].

Є показовим, що оптимальний крок у 1,259 рази дорівнює збільшенню умовної енергетичної величини в $10^{0,1}$ разів, тобто на 1 дБ, що набув широкого використання в різних сферах та є універсальним підходом. Отже запропонована універсальна класифікація рівнів екологічної небезпеки є геометричною прогресію із знаменником, що дорівнює 1 дБ [393].

Таким чином, з кожним порядковим номером рівня екологічної небезпеки (що позначено у табл. 4 і 5 як «РЕН, #»), зведені викиди «ЗВ» у г/км для легкових автомобілів, легкого комерційного транспорту та транспортних засобів категорії L, та у г/ткм для важкого комерційного транспорту (вантажівок та автобусів повною масою більше 3,5 т) збільшуються в 1,259 рази. Всі категорії транспортних засобів використовують в запропонованій універсальній системі єдину шкалу та цифрові значення зведених викидів, тобто від 5 г/км (або 5 г/ткм) до 2510 г/км (або 2510 г/ткм) [393].

Розподіл базових рівнів екологічної небезпеки на дискретні кроки є важливим, як зазначено вище, для зручності адміністрування системи маркування екологічної небезпеки транспортних засобів, представлення даних у зручній табличній формі тощо. Разом з тим, саме значення зведених питомих викидів у г/км або у г/ткм може бути використано також і для позначення ступеня екологічної небезпеки, окрім розрахунків з її використанням фіскальних заходів державного регулювання, пропорційних екологічному збитку [396].

Під час розрахунку валових зведених викидів у г/км на основі значення у г/ткм для великовантажних автомобілів має використовуватися повна конструктивна маса транспортного засобу (питоме значення зведених викидів у г/ткм множиться на повну конструктивну масу транспортного засобу (в тоннах) з отриманням, таким чином, умовних валових викидів у г/км, що приймають до розрахунків екологічного збитку) [393].

Запропоновані базові рівні екологічної небезпеки доцільно об’єднати у 6 груп (зон) для їх подальшого практичного використання для запровадження місцевими громадами різних екологічних зон, а саме [393, 391]:

1. Біла екологічна зона I вміщує рівні екологічної небезпеки від «0» (електромобілі, позначені як «EV») до «5» (транспортні засоби, що відповідатимуть істотно більш жорстким нормам, ніж сучасні норми «Євро-6».

2. Голуба екологічна зона II вміщує рівні екологічної небезпеки від «6» до «8», та представлена легковими автомобілями «PC» і легким комерційним транспортом «LCV» з бензиновими (P) і газовими (G) двигунами, що відповідають стандартам від «Євро-3» до «Євро-6», важким комерційним транспортом «HDV» рівня «Євро-6» (у тому числі автобусам), а також рівня «Євро-5», двигуни яких живляться природним газом «CNG».

3. Зелена екологічна зона III вміщує рівні екологічної небезпеки від «9» до «11», та представлена легковими автомобілями «PC» і легким комерційним транспортом «LCV» з бензиновими (P) і газовими (G) двигунами, що відповідають стандартам «Євро-2», з сучасними дизелями, що відповідають стандартам «Євро-6+» та «Євро-6++», важким комерційним транспортом «HDV» (у тому числі автобусам) з дизелями рівня «Євро-5», з двигунами рівня «Євро-4» і «Євро-5», що живляться бензином «P» або зрідженим нафтовим газом «LPG», з двигунами рівня «Євро-3» і «Євро-4», що живляться природним газом «CNG», а також сучасним транспортом категорії L з чотирьохтактними двигунами, обладнаних системою нейтралізації відпрацьованих газів, асоційованих з термінами впровадження норм «Євро-3» та, для мопедів з робочим об’ємом двигуна до 50 см^3 – асоційованих з термінами впровадження норм «Євро-2».

4. Жовта екологічна зона IV вміщує рівні екологічної небезпеки з «12» по «14», та представлена легковими автомобілями «PC» і легким комерційним транспортом «LCV» з бензиновими двигунами рівня «Євро-0» і «Євро-1», з

дизелями рівнів від «Євро-2» до «Євро-6», з газовими двигунами рівня «Євро-1», важким комерційним транспортом «HDV» (у тому числі автобусам) з дизелями рівнів «Євро-3» і «Євро-4», з двигунами рівня «Євро-2» і «Євро-3», що живляться бензином або зрідженим нафтовим газом, з двигунами рівня «Євро-1» і «Євро-2», що живляться природним газом, а також транспортом категорії L з чотирьохтактними двигунами, обладнаних системою нейтралізації відпрацьованих газів, асоційованих з термінами впровадження норм «Євро-1» і «Євро-2».

5. Червона екологічна зона V вміщує рівні екологічної небезпеки з «15» по «17», представлена транспортними засобами, до яких є доцільним впроваджувати обмежувальні заходи принаймні у великих містах.

6. Сіра зона VI вміщує наступні рівні екологічної небезпеки з «18»-го і далі, та представлена транспортними засобами з дуже високим рівнем забруднення навколишнього середовища.

Зони II, III, IV, та V, як видно з табл. 5.5 і табл. 5.6, містять кожна 3 рівні екологічної небезпеки і відрізняються послідовно одна від одної за зведеними викидами у 2 рази, тобто за геометричною прогресією зі знаменником, що дорівнює 2.

Місцеві громади, таким чином, отримують можливість впровадження в центральних та інших районах міст, залежно від забруднення атмосферного повітря, наведених вище екологічних зон з обмеженим або платним доступом транспортних засобів, що не задовольняють встановленим вимогам.

Наведена класифікація екологічних зон є дуже гнучкою, та задовольнятиме як сучасним, так і майбутнім потребам (по мірі оновлення парку) різних регіонів, та практичним (економічним, соціальним тощо) можливостям обмеження руху транспортних засобів з відносно високим рівнем екологічної небезпеки.

Кожному транспортному засобу має бути присвоєний поточний рівень екологічної небезпеки та відповідна йому група з кольоровим позначенням,

що відповідає порядковому номеру та кольору зони, до якої (та, відповідно, більш «брудних» зон) йому надається необмежений доступ.

Транспортним засобам з несправними системами контролю токсичності (або при виявленні демонтажу каталітичного нейтралізатору тощо), або таких, що в «кустарних» умовах переобладнані для використання іншого виду палива без підтвердження отриманого рівня викидів, під час періодичного підтвердження придатності до експлуатації, або виявлення в процесі експлуатації порушення норм концентрацій забруднювальних речовин у відпрацьованих газах (ВГ) або граничних значень димності ВГ, встановлюють відповідний РЕН у «сірій» зоні за замовченням, що стимулюватиме власників підтримувати технічний стан ДТЗ в належному стані.

Поступове впровадження на перших етапах абсолютних або економічних обмежень щодо в’їзду до центральних частин міст з високим рівнем концентрації забруднювальних речовин у повітрі та високим скупченням населення в цих районах, хоча б застарілих транспортних засобів, що попадають в червону (V) та сіру (VI) зони вже означатиме на практиці кардинальне покращення екологічної ситуації, оскільки «внесок» таких категорій транспортних засобів в загальний рівень локального забруднення є визначальним, навіть при їх невеликій відносній кількості в транспортному потоці.

Впровадження диференційованого доступу та диференційованої вартості користування транспортною інфраструктурою може відбуватися не тільки за допомогою відповідних кольорових наклейок (наприклад, що встановлюють на лобовому склі автомобіля, або інших частинах транспортного засобу), але і за допомогою сучасних цифрових технологій дистанційної автоматизованої ідентифікації транспортних засобів тощо.

Таблиця 5.5

Легкові автомобілі (Passenger Cars (PC)) та легкий комерційний транспорт (Light Commercial Vehicles (LCV)) [393, 391]

Група (зона)	I						II			III			IV			V			VI									
РЕН, #	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
ЗВ, г/км	5	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	79	100	126	158	199	251	316	398	501	630	793	999	1258	1583	1994	2510
PC(P)-Euro-6							0	1-5	6-12	13-20																		
PC(P)-Euro-5							0	1-4	5-10	11-16	17-25																	
PC(P)-Euro-4								0	1-4	5-8	9-14	15-21	22-30															
PC(P)-Euro-3									0	1-3	4-7	8-12	13-18	19-26														
PC(P)-Euro-2												0	1-2	3-5	6-10	11-15	16-21	22-29										
PC(P)-Euro-1														0	1	2-4	5-7	8-11	12-16	17-22	23-30							
PC(P)-Euro-0															0	1	2-3	4-5	6-8	9-12	13-17	18-23	24-31					
PC(P)-P																			0	1	2-3	4-5	6-8	9-12	13-17	18-23	24-31	32-40
PC(D)-Euro-6++											0	1-8	9-19	20-33														
PC(D)-Euro-6+												0	1-8	9-19	20-33													
PC(D)-Euro-6													0	1-8	9-19	20-33												
PC(D)-Euro-5													0	1-6	7-14	15-25	26-37											
PC(D)-Euro-4														0	1-5	6-11	12-19	20-30	31-43									
PC(D)-Euro-3															0	1-4	5-9	10-16	17-25	26-35								
PC(D)-Euro-2															0	1-3	4-7	8-12	13-18	19-26	27-37							
PC(D)-Euro-1																0	1-2	3-5	6-9	10-13	14-19	20-27	28-36					
PC(D)-Euro-0																	0	1	2-4	5-7	8-10	11-15	16-21	22-28	29-38			
PC(D)-P																		0	1	2-4	5-7	8-10	11-15	16-21	22-28	29-38		

Таблиця 5.6

Великовантажний транспорт та автобуси (Heavy-Duty Vehicles (HDV)) [393, 394]

Група (зона)	I						II			III			IV			V			VI									
РЕН, #	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
ЗВ, г/ткм	5	6	8	10	13	16	20	25	32	40	50	63	79	100	126	158	199	251	316	398	501	630	793	999	1258	1583	1994	2510
HDV(D)-Euro-6								0	1-2	3-6	7-10	11-15	16-21	22-30	31-40													
HDV(D)-Euro-5												0	1-2	3-5	6-10	11-15	16-21	22-29	30-40									
HDV(D)-Euro-4													0	1	2-3	4-6	7-10	11-14	15-20	21-26	27-35							
HDV(D)-Euro-3															0	1	2-3	4-6	7-10	11-14	15-19	20-26	27-35					
HDV(D)-Euro-2																0	1	2-3	4-6	7-10	11-14	15-19	20-26	27-35				
HDV(D)-Euro-1																	0	1	2-3	4-6	7-10	11-14	15-19	20-26	27-35			
HDV(D)-Euro-0																		0	1	2-3	4-6	7-10	11-14	15-19	20-26	27-35	36-46	
HDV(D)-P																			0	1	2-4	5-10	11-15	16-21	22-28	29-37	38-49	50-64 47-60

Транспортним засобам з дуже великим терміном експлуатації, усереднені зведені обсяги викидів яких перевищують навіть наведений в таблицях 27-й рівень екологічної небезпеки, присвоюють, відповідно, більший порядковий номер, виходячи з прийнятого кроку між класами у 1,259 рази, що дорівнює збільшенню умовної енергетичної величини в $10^{0,1}$ разів, тобто на 1 дБ [393].

Іншою перевагою запропонованої системи рівнів екологічної небезпеки, крім можливості поєднання в єдиній системи координат транспортних засобів з різних ринків, на яких діють практично несумісні системи екологічних стандартів (наприклад норми «Євро» та вимоги північноамериканського ринку – та про це буде доведено окремо), та можливості врахування збільшення викидів з пробігом та терміном експлуатації транспортних засобів, є також можливість стимулювання обладнання транспортних засобів (у тому числі таких, що перебувають в експлуатації тривалий час) додатковими засобами контролю викидів (так званий ретрофітінг), наприклад, обладнання дизелів сажевими фільтрами, стимулювання періодичної планової заміни змінних елементів систем нейтралізації відпрацьованих газів (каталітичних нейтралізаторів) тощо [393].

Наведене вище надає основу для запровадження фіскальних та інших механізмів стимулювання використання екологічно більш сприятливих видів транспортних засобів відповідно до практики країн-членів ЄС з використанням принципу «забруднювач платить» [393].

З наведено вище можна зробити такі висновки (опубліковані автором в [396]):

1. Встановлено коефіцієнти відносної шкідливості для 64-х видів найбільш вагомих та досліджених на сьогоднішній час забруднювальних речовин, джерелами викидів яких є дорожній транспорт. Перелік забруднювальних речовин, що враховано, дозволяє об’єктивно оцінювати сумарну токсичність транспортних засобів різного технологічного рівня, у

тому числі порівнювати автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, що використовують різні види палива, та електромобілі.

2. Визначено в єдиній системі координат зведені масові викиди забруднювальних речовин як від традиційного транспорту з двигунами внутрішнього згоряння, так і від електромобілів, зносу пневматичних шин, дорожнього полотна та елементів гальмівних систем. Зведені викиди відображають усереднений агрегований (зведений) ступінь шкоди, що транспортний засіб завдає навколишньому середовище через інгредієнтне забруднення в місцях масового зосередження людей.

3. Виконаний аналіз зведених масових усереднених експлуатаційних викидів забруднювальних речовин дорожніми транспортними засобами різних технологічних рівнів. Встановлено, зокрема, що:

– зведені сумарні масові викиди легковими автомобілями рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами лише в 4 рази перевищують зведені викиди електромобілів;

– зведені викиди легкових автомобілів рівня «Євро-6++» з дизелями в два рази є більшими, ніж від легкових автомобілів рівня «Євро-5»–«Євро-6» з бензиновими двигунами;

– зведені викиди вантажних автомобілів та міських автобусів рівня «Євро-6» в середньому лише в 5 разів більше зведених викидів електричного транспорту;

– зведені викиди транспортними засобами категорії L (мопедами та мотоциклами) можуть істотно перевищувати викиди легкових автомобілів та навіть автобусів та вантажівок.

4. Отримана система координат, що дозволяє пропонувати загальні принципи розроблення та наступного запровадження універсальної системи маркування рівня екологічної небезпеки автомобілів.

5.5. Визначення обґрунтованих рівнів вимог до транспортних засобів в екологічних зонах

Впровадження екологічної зони потребує встановлення мінімального рівня екологічних вимог до дорожніх транспортних засобів (ДТЗ), щодо яких не будуть застосовуватися обмеження. Важливою вихідною інформацію для прийняття місцевими адміністраціями обґрунтованих рішень є, зокрема [394]:

– дані щодо екологічної структури парку, що приймає участь в дорожньому русі;

– дані щодо питомих експлуатаційних викидів ДТЗ різних груп, що можуть бути диференційовані;

– «внесок» ДТЗ різних груп в загальне забруднення, з врахуванням структури парку;

– прогнозоване зменшення усереднених питомих викидів парком в екологічних зонах за різними сценаріями регулювання (за результатами моделювання).

На основі даних ДП «ДержавтотрансНДІпроект» (Україна) та експертних оцінок, як приклад, було відтворено (реконструйовано) дані щодо орієнтовної екологічної структури активної частини парку ДТЗ в Україні станом на кінець 2020 р. З використанням отриманих вище даних щодо динамічного рівня екологічної небезпеки, для кожної групи ДТЗ розраховано частку у зведених викидах всього парку, та зменшення питомих викидів за різними сценаріями регулювання.

Структура парку та викиди ДТЗ різних категорій наведено нижче у табл. 5.7–5.11 та на рис. рис. 5.11 – рис. 5.13.

У табл. 5.7–5.11 та на рис. 5.11 – рис. 5.13 використано такі позначення:

– S (%) – частка (%) в активній частині парку ДТЗ (екологічна структура);

– EHL (g/km) – рівень екологічної небезпеки (Environment Hazard Level (EHL));

– RE (%) – частка у зведених викидах всієї активної частини парку;

– G (%) – частка (%) у зведених викидах суми наведеного та нижчих екологічних рівнів ДТЗ;

– R (%) – зменшення питомих викидів за умови простого виключення з дорожнього руху в екологічній зоні наведеного та нижчих екологічних рівнів ДТЗ (у % від рівня забруднення у 2020 р.);

– RC (%) – зменшення питомих викидів за умови виключення з дорожнього руху в екологічній зоні наведеного та нижчих екологічних рівнів ДТЗ (у % від рівня забруднення у 2020 р.), та з врахуванням «компенсації» обсягів перевезень ДТЗ вищих екологічних рівнів;

– PC (G) – легкові автомобілі з двигунами з примусовим запалюванням;

– PC (D) – легкові автомобілі з дизелями;

– EV – електромобілі;

– HDV – важкий комерційний транспорт;

– Bus – автобуси.

Таблиця 5.7

Структура парку та викиди легковими автомобілями з двигунами з примусовим запалюванням [394]

Standard	S (%)	EHL (g/km)	RE (%)	G (%)	R (%)	RC (%)
"Euro-0"	22	1258	69,4	69,4	30,6	39,2
"Euro-1"	6	501	7,54	76,9	23,1	29,2
"Euro-2"	27	251	16,99	93,9	6,1	12,5
"Euro-3"	11	79	2,18	96,1	3,9	9,8
"Euro-4"	26,6	50	3,33	99,4	0,6	7,2
"Euro-5"	7	32	0,56	99,97	0,03	6,3
"Euro-6"	0,4	25	0,03	100	–	–

Таблиця 5.8

Структура парку та викиди легковими автомобілями з дизелями [394]

Standard	S (%)	EHL (g/km)	RE (%)	G (%)	R (%)	RC (%)
"Euro-0"	19	1583	54,8	54,8	45,2	55,3
"Euro-1"	8	630	9,19	64,0	36,0	47,0
"Euro-2"	28	398	20,3	84,3	15,7	33,7
"Euro-3"	6	316	3,46	87,8	12,2	27,2
"Euro-4"	25	199	9,07	96,9	3,1	19,2
"Euro-5"	13,1	126	3,01	99,87	0,13	14,4
"Euro-6"	0,9	79	0,13	100	–	–

Таблиця 5.9

Структура парку та викиди всіма легковими автомобілями та електромобілями [394]

Standard	S (%)	RE (%)	G (%)	R (%)	RC (%)
"Euro-0"	21,2	65,0	65,0	35,0	43,1
"Euro-1"	6,5	8,0	73,0	27,0	33,5
"Euro-2"	27,2	18,0	91,0	9,0	17,6
"Euro-3"	9,8	2,6	93,6	6,4	14,0
"Euro-4"	26,1	5,1	98,6	1,4	10,1
"Euro-5"	8,4	1,3	99,9	0,06	8,2
"Euro-6"	0,5	0,1	100	0	1,1
EV	0,3	0,004	100	–	–

Таблиця 5.10

Структура парку та викиди важким комерційним транспортом [394]

Standard	S (%)	EHL (g/tkm)	RE (%)	G (%)	R (%)	RC (%)
"Euro-0"	26,3	1583	53,2	53,2	46,8	63,6
"Euro-1"	3,3	1258	5,31	58,5	41,5	54,7
"Euro-2"	23	793	23,3	81,8	18,2	34,1
"Euro-3"	15,6	501	9,99	91,8	8,2	21,2
"Euro-4"	14,8	251	4,75	96,6	3,4	13,9
"Euro-5"	16,9	158	3,41	99,99	0,01	5,1
"Euro-6"	0,1	40	0,01	100	–	–

Таблиця 5.11

Структура парку та викиди автобусами [394]

Standard	S (%)	EHL (g/tkm)	RE (%)	G (%)	R (%)	RC (%)
"Euro-0"	48	1583	68,8	68,8	31,2	52,9
"Euro-1"	5,8	1258	6,61	75,4	24,6	41,6
"Euro-2"	26,6	793	19,1	94,5	5,5	22,8
"Euro-3"	6,7	501	3,04	97,6	2,4	14,2
"Euro-4"	6,9	251	1,57	99,1	0,9	9,3
"Euro-5"	6	158	0,86	100	0	3,6
"Euro-6"	0	40	0,00	100	–	–

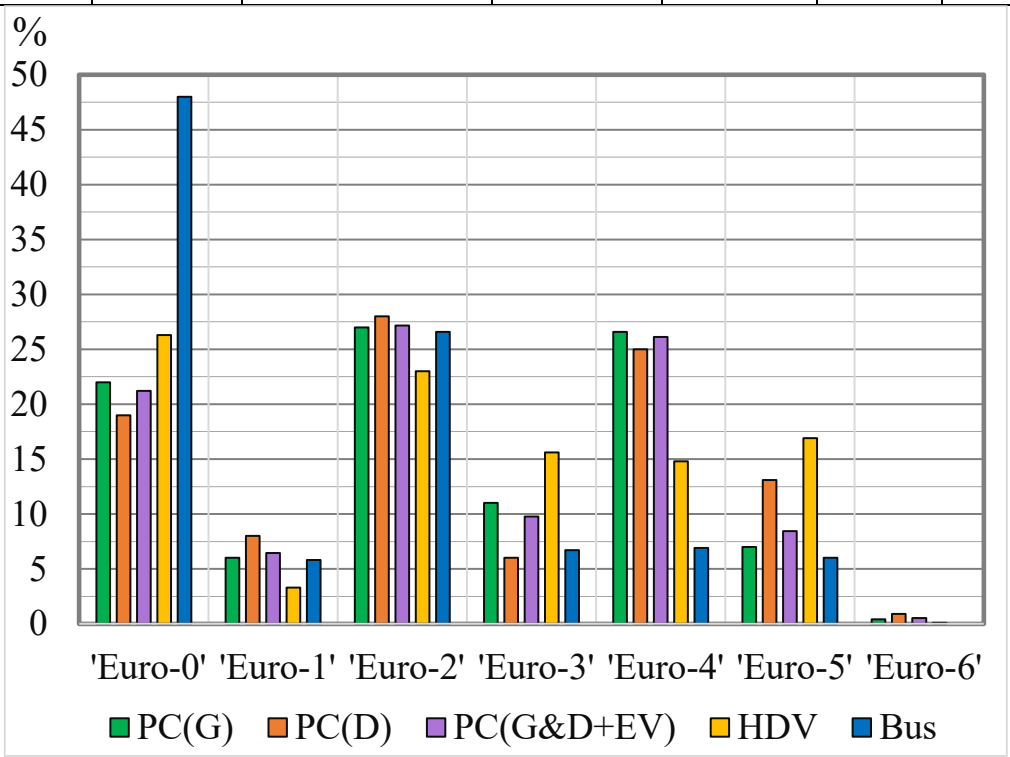


Рисунок 5.11 – Відтворені дані щодо екологічної структури (%) активної частини парку ДТЗ в Україні [394]

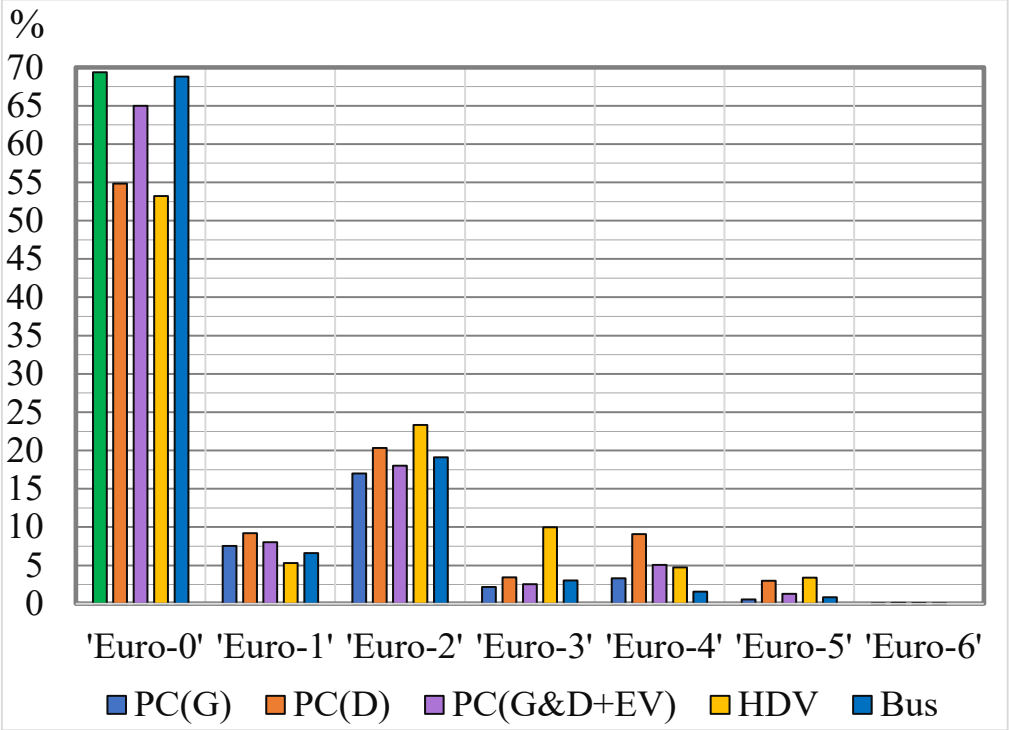


Рисунок 5.12 – Розрахований внесок (%) у загальні зведені питомі викиди забруднювальних речовин в Україні ДТЗ різного рівня «Євро» [394]

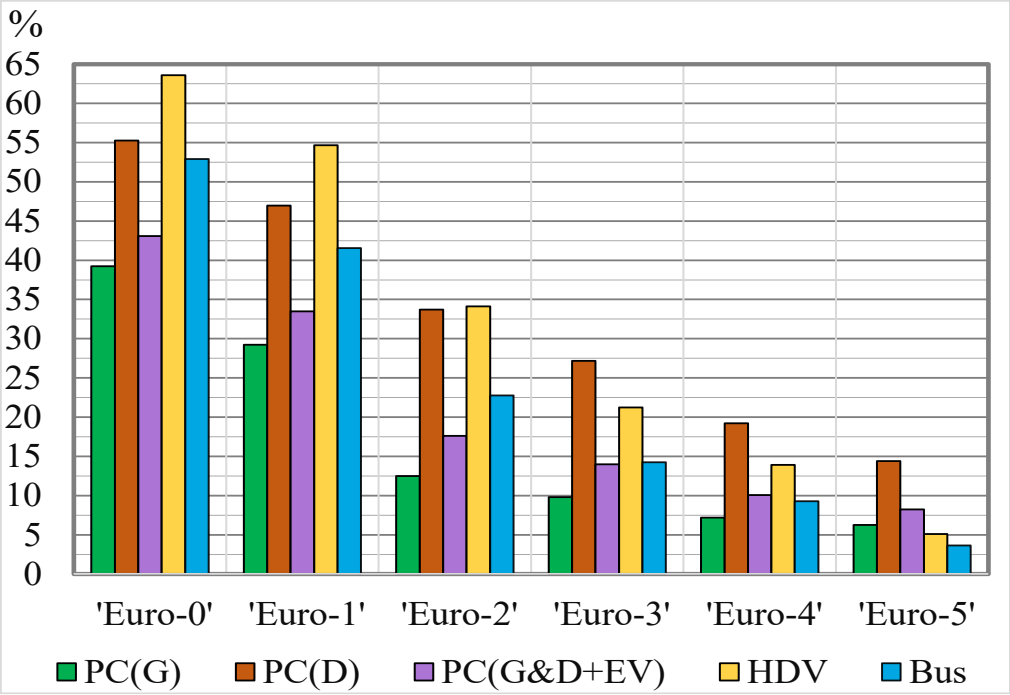


Рисунок 5.13 – Розраховане зменшення сумарних зведених питомих викидів забруднювальних речовин (у % від рівня 2020 р. з урахуванням структури активної частини парку в Україні) у випадку виключення доступу до екологічної зони ДТЗ наведеного і нижчих рівнів «Євро» [394]

За відтвореними даними щодо екологічної структури S (%) активної частини парку ДТЗ в Україні (рис. 3), та визначеним у [393, 395, 396] рівнем екологічної небезпеки ДТЗ, розраховують частку RE (%) у зведених викидах всієї активної частини парку (рис. 4). Частка G (%) у зведених викидах суми наведеного та нижчих екологічних рівнів ДТЗ та відповідне зменшення питомих викидів R (у % від поточного рівня забруднення) розраховані без урахування «компенсації» обсягів перевезень. Наведене на рис. 5 зменшення RC (%) питомих викидів через виключення з дорожнього руху в екологічній зоні наведеного та нижчих екологічних рівнів ДТЗ розраховано з припущення «компенсації» обсягів перевезень, рівномірно розподілених серед ДТЗ вищих екологічних рівнів (тобто незмінних загальних обсягів перевезень) [394].

Вимоги до ДТЗ, що є доцільним диференційовано впроваджувати в екологічних зонах в містах, обґрунтовано шляхом прогнозування зменшення усереднених питомих викидів забруднювальних речовин парком за різними сценаріями регулювання. Дані, наведені вище у табл. 1–5 та на рис. 3–5, наочно доводять доцільність обмеження активної експлуатації в містах принаймні ДТЗ, що відповідають вимогам «Євро-0» і нижче. Це дозволить досягти зменшення рівня сумарних питомих викидів RC орієнтовно до 40–65% від поточного рівня (рис. 5) залежно від категорії ДТЗ. На практиці це означає масове встановлення «червоних» екологічних зон рівня V (зон широкого охоплення) із максимально допустимим рівнем зведених викидів у 251 г/км (г/ткм) [391], як це показано на рис. 2, та в [393].

Істотне (в середньому орієнтовно у 4–5 разів) зниження питомих викидів в дуже забруднених та густонаселених районах (у виокремлених екологічних зонах) може бути досягнуто впровадженням принаймні «жовтих» екологічних зон рівня IV. Цей рівень охоплює категорії ДТЗ за класом «Євро» та віком, як це показано в [393]. На практиці це може передбачати обмеження для легкових автомобілів із двигунами з примусовим запалюванням рівня «Євро-2» і нижче, та ДТЗ з дизелями «Євро-4» і нижче (рис. 5). У разі введення

обмежень для всіх ДТЗ рівня «Євро-2» і нижче без врахування виду палива, це призвело б до рівня викидів RC у (рис. 5): 17,6% (табл. 3) від поточного рівня в середньому для легкових автомобілів «PC(G&D+EV)» з врахуванням структури їх парку; 22,8% (табл. 5) для автобусів «Bus», та 34,1% (табл. 4) для вантажівок «HDV» [394].

Впровадження «зелених» екологічних зон рівня III із максимально допустимим рівнем зведених викидів у 63 г/км (г/ткм) та, відповідно, граничним рівнем екологічної небезпеки № 11 (рис. 2 та [393]) теоретично може знизити локальні зведені викиди на порядок (рис. 5) [3941]. Це означає, що в такі зони матимуть необмежений доступ: легкові автомобілі з двигунами з примусовим запалюванням рівня «Євро-4» і вище; легкові автомобілі з дизелями рівня «Євро-6d» віком до 8 років включно; вантажний транспорт та автобуси рівня «Євро-6» віком до 15 років включно [393].

Впровадження «блакитних» (рівень II) та «білих» (рівень I, що включає електромобілі) екологічних зон малого радіусу дії (центральні частини міст тощо) (рис. 2 і [393]) на даний час потребує додаткового обґрунтування. Це має передбачати, зокрема, моделювання просторового розсіювання забруднювальних речовин та їх концентрацій у повітрі, з врахуванням наявного фонового забруднення місцевості [394].

Опубліковані у [394] результати вносить вклад у вирішення проблеми уникнення фрагментації вимог до екомаркування та схем обмеження доступу транспорту на різних територіях та забезпечення суцільної (безперебійної) транспортної системи з більш ефективним регулюванням. Він полягає у розширених пропозиціях щодо основних принципів запровадження уніфікованої системи екологічного маркування ДТЗ в експлуатації та обґрунтуванні на основі імітаційного моделювання доцільних вимог до ДТЗ відповідно до диференційованих та стандартизованих рівнів екологічних зон. У практичній площині отримані результати вже зараз надають важливі вихідні дані для місцевих адміністрацій в частині прогнозованих наслідків можливих

рішень з регулювання та їх обґрунтування. В цьому дослідженні вперше наведено результати прогнозування наслідків впровадження екологічних зон за різними сценаріями регулювання, що ґрунтуються на рівні зведеної екологічної небезпеки інгредієнтного забруднення ДТЗ, та враховують структуру парку.

Запропонований підхід дозволяє здійснювати в єдиній, уніфікованій системі координат [393 – 395, 396] регулювання ДТЗ, вироблених за несумісними екологічними стандартами [437, 438] різних ринків. Це є дуже важливим з огляду на процеси подальшої міжнародної гармонізації, уникнення бар'єрів та підвищення ефективності транспортного комплексу.

Істотним обмеженням даного дослідження є те, що воно не враховує проблему порушення окремими водіями (власниками) встановлених вимог до технічного стану ДТЗ, поточного екомаркування, та умов допуску до екологічних зон. Вплив цих факторів на загальний рівень забруднення та розроблення комплексу запобіжних заходів має бути предметом окремих досліджень [394].

У роботі, таким чином, відтворено (реконструйовано) інформацію, необхідну для обґрунтування та визначення доцільних рівнів екологічних зон та відповідних вимог до дорожніх транспортних засобів. Зокрема, це дані щодо екологічної структури активної частини парку, дані щодо зведених питомих експлуатаційних викидів ДТЗ різних груп та їх «внесок» в загальне забруднення, з врахуванням структури парку. Отримано прогнози зменшення усереднених питомих викидів парком в екологічних зонах за різними сценаріями регулювання. Ці прогнози обґрунтовують доцільність обмеження подальшої активної експлуатації в містах в містах дорожніх транспортних засобів визначеного рівня екологічної небезпеки залежно від широти охоплення територій [394].

Отримані результати надають принципово нові можливості з впровадження більш ефективних схем регулювання доступу транспортних

засобів до забруднених територій міст, що підтверджується результатами розрахунків зменшення викидів. За рахунок впровадження запропонованих екологічних зон різного рівня показано принципові можливості досягти зменшення рівня сумарних питомих зведених викидів орієнтовно [394]:

- на рівні 40–65% від поточного рівня в межах щільної забудови міст, що охоплюють значні території («червоні» екологічні зони рівня V);
- у 4–5 разів в дуже забруднених та густонаселених районах («жовті» екологічні зони рівня IV);
- на порядок в особливо чутливих виокремлених зонах («зелені» екологічні зони рівня III).

Подальший розвиток запропонованої системи екологічного маркування дорожніх транспортних засобів в частині інгредієнтного забруднення має також здійснюватися, зокрема, за такими напрямами [394]:

- розширення диференціації стандартних значень рівнів екологічної небезпеки відповідно до видів моторних палив (з врахуванням біопалив та переобладнання для використання зрідженого нафтового газу) та інших факторів;
- розроблення методів, технологій та обладнання для вдосконалення інструментального контролю викидів під час періодичної та вибіркової оцінки придатності до експлуатації (з відповідним коригуванням поточного класу небезпеки).

Наведені вище результати опубліковано у [393 – 395, 396].

5.6. Агрегована токсичність дорожніх транспортних засобів як основа для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря

По мірі того, як стандарти на норми гранично допустимих викидів окремих видів забруднювальних речовин від ДТЗ стають дедалі суворішими,

слід враховувати також наступне [395]:

1. Це призводить до значних ускладнень конструкції ДТЗ, зниження надійності та збільшення витрат на виробництво та експлуатацію транспортних засобів.

2. Складність конструкції та зниження надійності негативно впливають на збереження встановлених норм викидів під час експлуатації транспортного засобу (результатом може бути більш швидке погіршення екологічних показників сучасних транспортних засобів порівняно з їх попередниками, незважаючи на сучасні вимоги до бортових діагностичних систем).

3. Зростання вартості нових, «чистіших» транспортних засобів може з економічних причин призвести до більш тривалого періоду експлуатації старих транспортних засобів. Останні виділяють величезну кількість шкідливих речовин і все ще відіграють вирішальну роль у загальному забрудненні міського повітря, незважаючи на збільшення частки навіть чисто електричних транспортних засобів у транспортному потоці.

4. Фактичні викиди на дорогах можуть значно перевищувати значення затвердження типу, отримані в лабораторії. Ця проблема відома як «поза циклові» викиди. У цьому контексті вищі норми викидів часто більшою мірою демонструють досить віртуальні технологічні можливості виробника, досяжні в основному в ідеалізованих лабораторних умовах, які мають мало спільного із фактичним зменшенням забруднення в реальній експлуатації.

5. Структура викидів та внесок окремих компонентів у їх загальну токсичність постійно змінюються з новими стандартами викидів та супутніми технологіями.

6. Нарешті, сучасні «екологічно чисті» технології можуть навіть збільшити загальний викид забруднювальних речовин, враховуючи оцінку у повному життєвому циклі.

Таким чином, майбутні стандарти викидів для автомобільної промисловості, а також технічні, фіскальні та інші заходи регулювання у цій

галузі повинні бути обґрунтовані та встановлені якимось оптимальним, збалансованим чином. Оптимальний, збалансований набір стандартів і гранично допустимих норм викидів для різних забруднювачів повинен враховувати співвідношення вартості технологій подальшого зменшення викидів до підтвердженої вигоди, тобто реального ефекту від зменшення забруднення принаймні в експлуатації (та окремим питанням залишається зменшення сукупних збитків від забруднення у розрізі повного життєвого циклу) [395].

Теоретичні межі подальшого можливого та виправданого зниження токсичності транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння є безсумнівно предметом підвищеного наукового і практичного інтересу. Ці межі мають визначатися з врахуванням, зокрема, викидів забруднювальних речовин із продуктами зношування від електричних транспортних засобів, які також вивчаються в ході досліджень [395].

Наприклад, згідно з [439], зростаюча популярність електромобілів, швидше за все, не матиме значного впливу на рівень викидів в містах твердих частинок (PM), оскільки їх викиди від джерел, що не пов’язані з відпрацьованими газами двигунів, вже становлять понад 90% PM_{10} і 85% $PM_{2,5}$ сукупних викидів від транспортних потоків. Крім того, викиди частинок з продуктами зношування, у дрібних, так і в грубих фракцій, є багатими на вміст важких металів [440], [395].

Регульовані та нерегульовані викиди, включаючи викиди, внаслідок стирання гальм, шин та дорожнього покриття були розглянуті в [440]. Транспортні засоби з двигунами внутрішнього згоряння порівнюють з електричними транспортними засобами, використовуючи такі критерії та показники, як токсичність для людини, утворення твердих частинок, вплив на здоров'я людини. В [440] показано, що шкідливий вплив транспортних засобів із сучасними бензиновими ДВЗ може бути певною мірою порівнянним з електромобілями з урахуванням вищезазначених критеріїв [395].

Отже, все вищезазначене доводить необхідність більш обґрунтованих та надійних підходів до оцінки впливу на навколишнє середовище і, отже, сукупної токсичності дорожніх транспортних засобів як основи для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря.

Метою дослідження у цієї частині роботи є визначення внеску всебічного набору відомих забруднювачів у сукупну токсичність дорожніх транспортних засобів різного технологічного рівня як основи для встановлення пріоритетів майбутнього державного регулювання у галузі охорони атмосферного повітря.

Сукупні викиди ДТЗ різних технологічних рівнів оцінюються з використанням методу, описаного вище, на основі загальновизнаних коефіцієнтів викидів у процесі використання [410, 411] з 64 відомих первинних забруднювачів та їх відносної шкідливості.

Результати розрахунків наведені у графічному вигляді на рисунках 1–13.

Наступні скорочення застосовуються нижче до назв забруднювальних речовин та їх комбінацій (груп) [395]:

- «АКА» - це загальний обсяг викидів груп II (альдегіди), III (кетони) та IV (ароматичні речовини);

- «TSP» - сукупні зважені частинки VI групи;

- «TCOM» - позначення найбільш небезпечного, мабуть, компонента зважених частинок, що складається з адсорбованих на розвиненій поверхні частинок і абсорбованих (поглинених) їх рідкою частиною поліциклічних ароматичних вуглеводнів та стійких органічних забруднювачів (ПАУ та СОЗ), альдегідів, кетонів та ароматичних вуглеводнів;

- «(Exh)» - доповнення до позначення частинок, джерелом походження яких є вихлопні гази двигунів;

- «SD (TBR)» - це сукупні викиди із продуктами зношування пневматичних шин, дорожнього покриття, гальмівних колодок та інших агрегатів і вузлів, наступних компонентів: загальні зважені частинки (TSP),

поліциклічні ароматичні вуглеводні та стійкі органічні забруднюючі речовини (ПАУ та СОЗ), а також метали та їх сполуки (МС).

Графіки містять такі скорочення щодо типу транспортного засобу та палива [395]:

- «PC» - це легкові автомобілі;

- «EV» - це електромобілі;

- «EV (CR)» - це електромобілі з чистою рекуперацією. Це означає електромобілі наступного покоління з майже 100% наступним корисним використанням енергії під час гальмування системою рекуперації. Абревіатура «(CR)» означає «чиста рекуперація» (clean recuperation) гіпотетичного ДТЗ майбутнього, в якому для гальмування у всіх (100%) режимах застосовується практично лише електричний привід. Таким чином, практично не відбувається викидів продуктів зношування від гальм. Звичайно, сучасні електромобілі мають рекуперацію, але все одно у значній мірі викидає продукти зношування від гальмівних механізмів. Визначення поняття «чиста рекуперація» використовується в роботі щоб відобразити подальший розвиток технологій електромобілів та їх потенційний вплив на забруднення [395, 393].

- «LDV» - це легкі транспортні засоби;

- «HDV» - це важкі транспортні засоби, включаючи міські автобуси великої місткості;

- «P» - бензин (petrol);

- «D» - дизельне паливо (diesel oil).

Внесок різних видів забруднюючих речовин у сукупну токсичність дорожніх транспортних засобів різного технологічного рівня є предметом великого інтересу. Бажано розробити більш обґрунтовані майбутні стандарти викидів для автомобільної промисловості, враховуючи також ще не врегульовані види забруднення, а також стандарти якості моторних палив.

На рис. 5.14 - рис. 5.23 представлено визначений внесок різних видів забруднень у сукупну токсичність дорожніх транспортних засобів різного

технологічного рівня. Цифри біля назви забруднювача означають внесок у %.

На рис. 5.14 та рис. 5.15 показано внесок (%) забруднень у сукупні викиди легкових автомобілів відповідно до рівнів «Євро-2» та «Євро-6» для бензинових двигунів.

Рис. 5.20 показує внесок (%) забруднювальних речовин у сукупні викиди від продуктів зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальмівних колодок.

На рис. 5.21–5.23 показано зміну внеску різних забруднювачів у загальну токсичність відповідно легкових автомобілів з бензиновими двигунами, легкових автомобілів з дизелями, та міських автобусів з дизелями різних екологічних класів.

На рис. 5.16 та рис. 5.17 показано внесок (%) забруднювальних речовин у сукупні викиди легкових автомобілів з дизелями відповідно до рівнів «Євро-2» та «Євро-6».

На рис. 5.18 та рис. 5.19 показано внесок (%) забруднюючих речовин у сукупні викиди міських автобусів з дизелями відповідно до рівнів «Євро-2» та «Євро-6».

Нижче наводиться аналіз впливу різних видів забруднювальних речовин у загальну сукупну токсичність транспортних засобів різного технологічного рівня [392].

Внесок вуглекислого газу (CO2)

Основна частина валових масових викидів від відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння знаходиться в групі I газоподібних компонентів, в якій переважає CO2. Незважаючи на невисокий (0,0022) відносний коефіцієнт токсичності CO2 (який у 455 разів менше, ніж CO), його високі валові викиди (левова частка продуктів згоряння палива припадає на CO2) призводять до помітного токсичного ефекту у великих містах

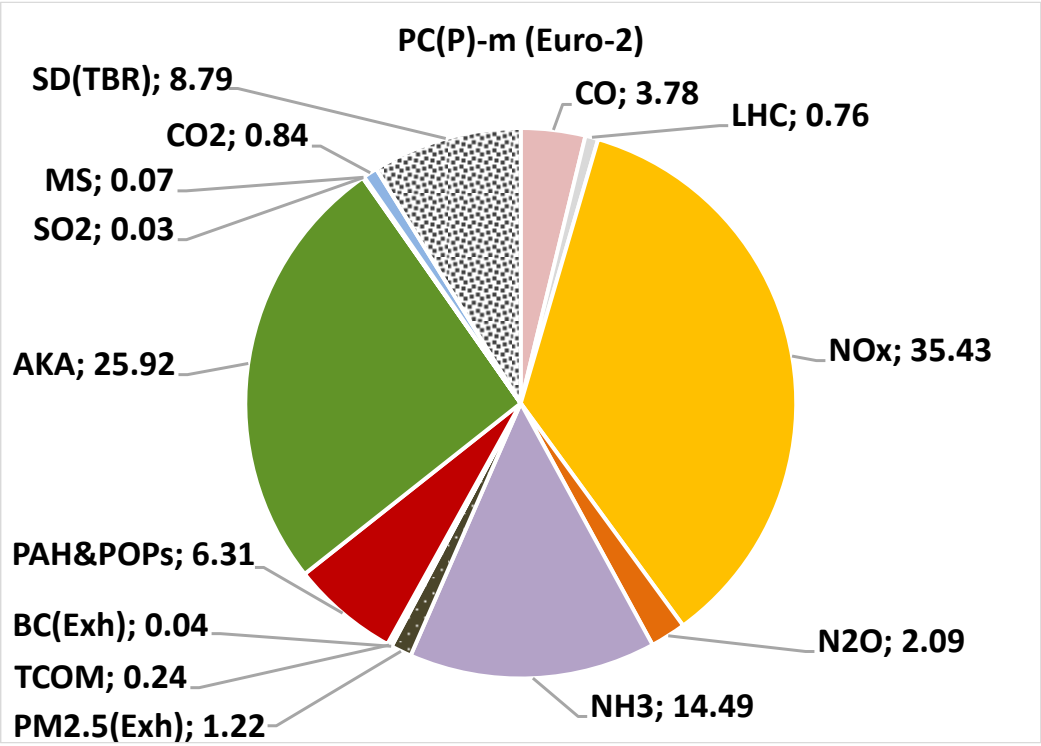


Рисунок 5.14 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність легкових автомобілів «Євро-2» з бензиновими двигунами [395]

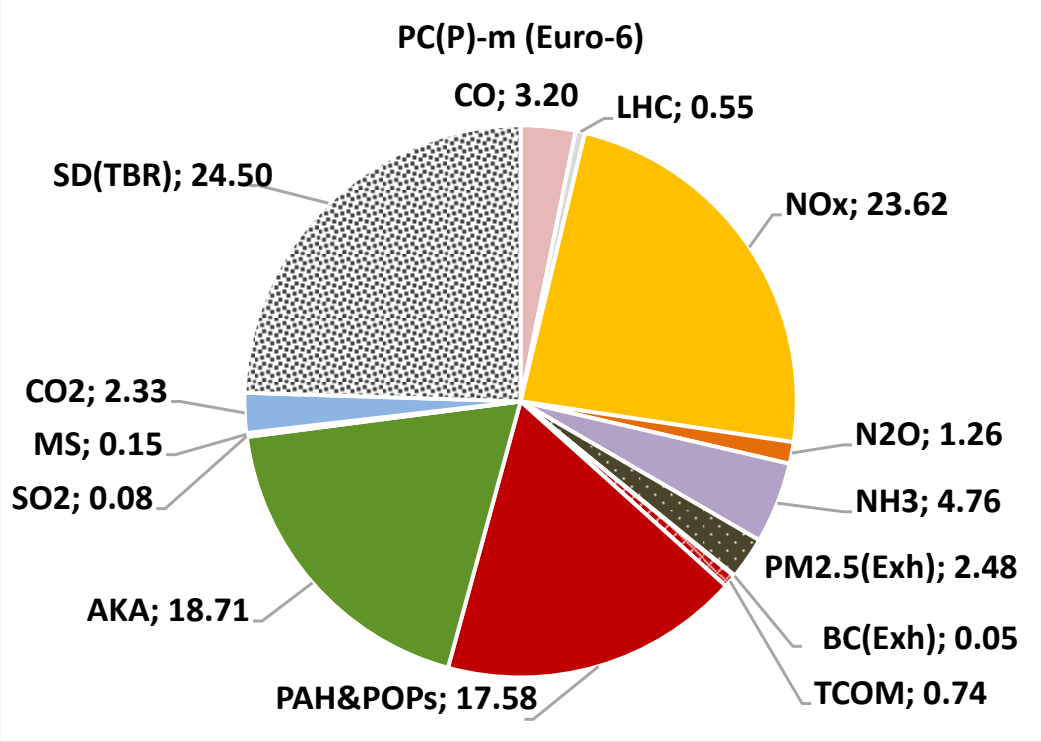


Рисунок 5.15 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність легкових автомобілів «Євро-6» з бензиновими двигунами [395]

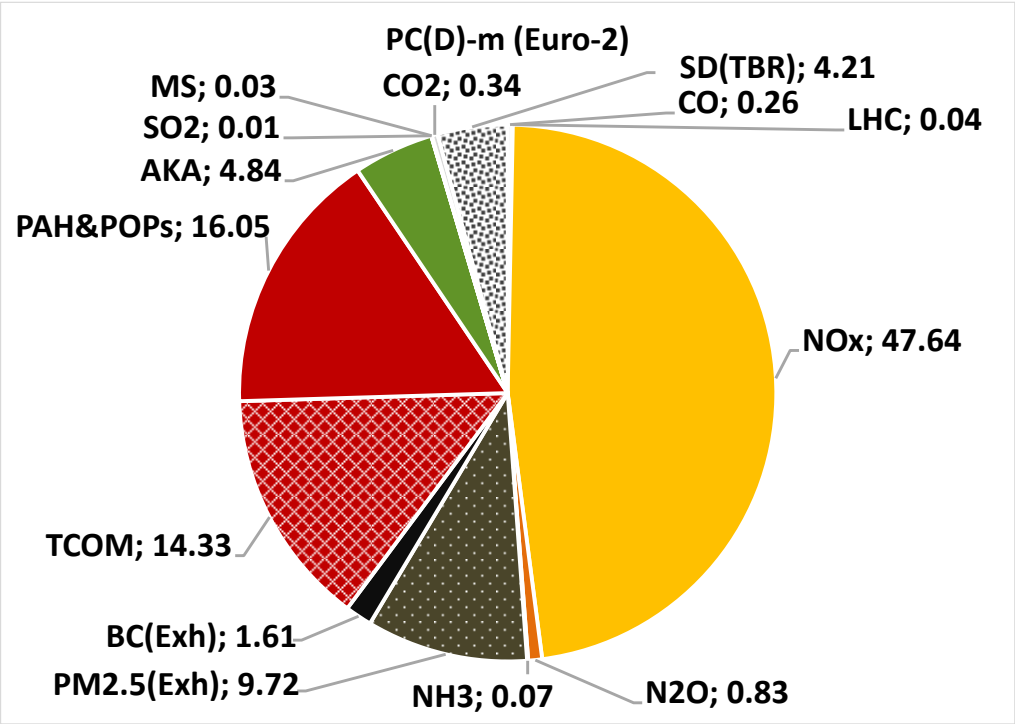


Рисунок 5.16 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність легкових автомобілів «Євро-2» із двигунами із запалюванням від стиснення (дизелями) [395]

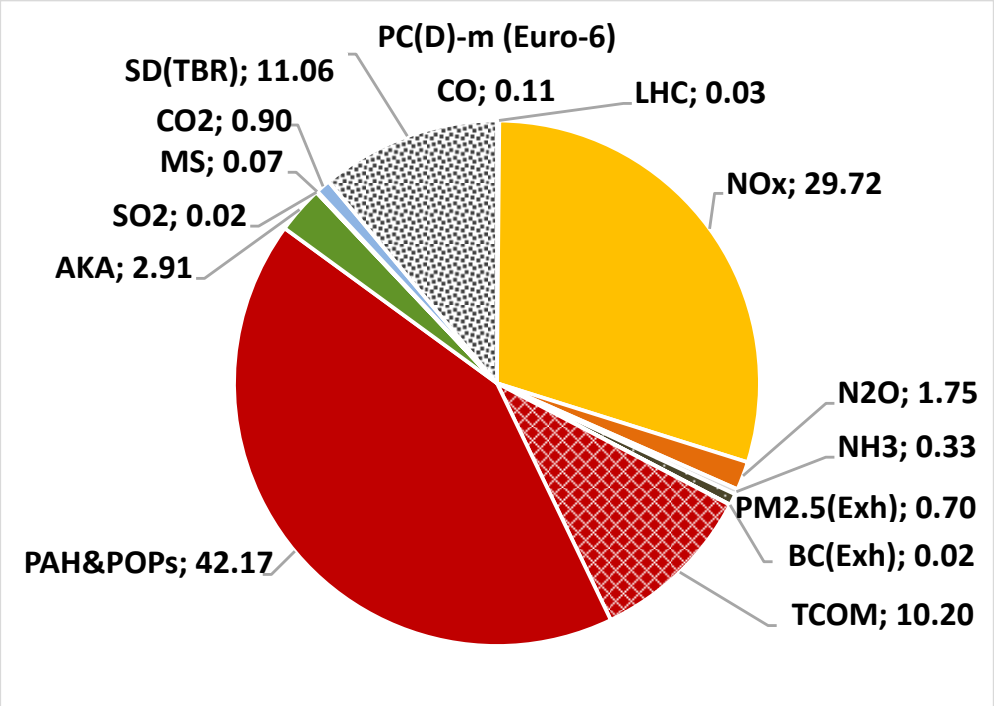


Рисунок 5.17 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність легкових автомобілів «Євро-6» із дизелями [395]

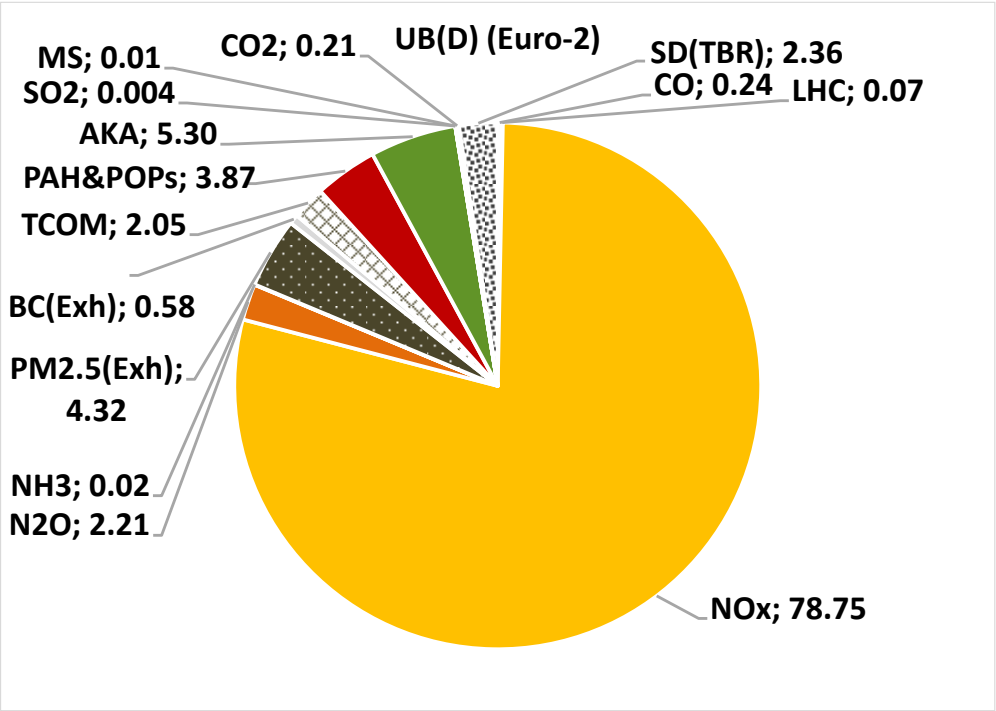


Рисунок 5.18 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність міських автобусів «Євро-2» із дизелями [395]

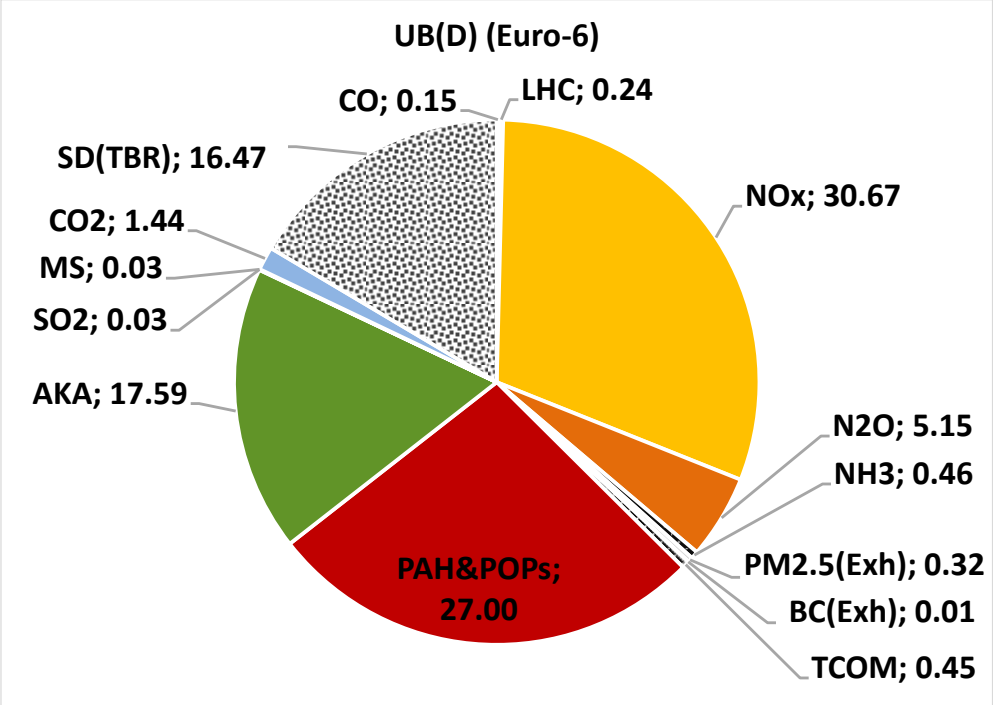


Рисунок 5.19 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність міських автобусів «Євро-6» із дизелями [395]

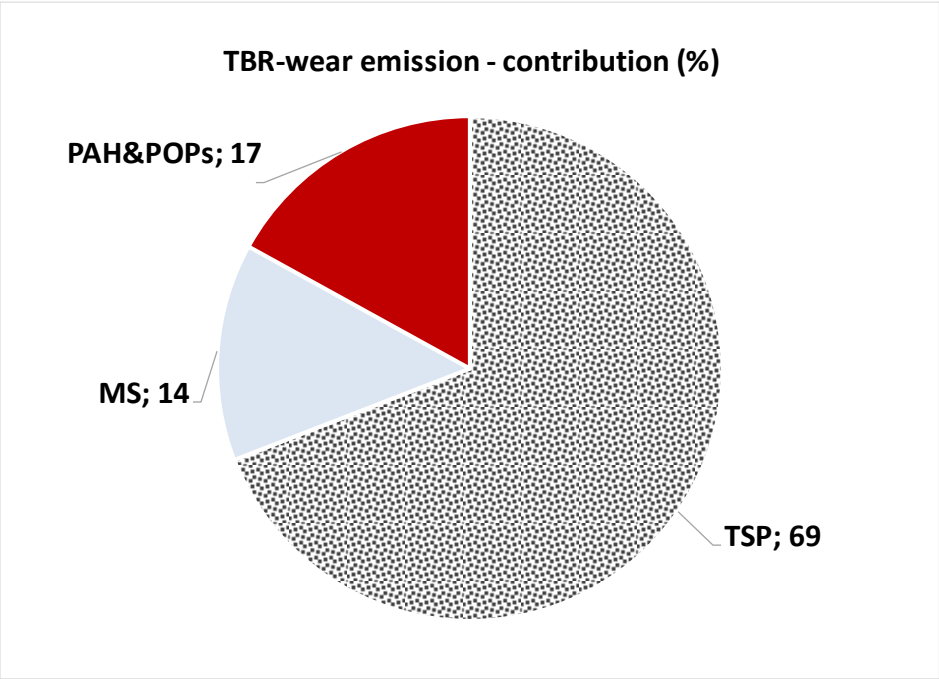


Рисунок 5.20 – Внесок (%) різних забруднювальних речовин у сукупну токсичність внаслідок зношування сміття шин, доріг та гальмівних колодок [395]

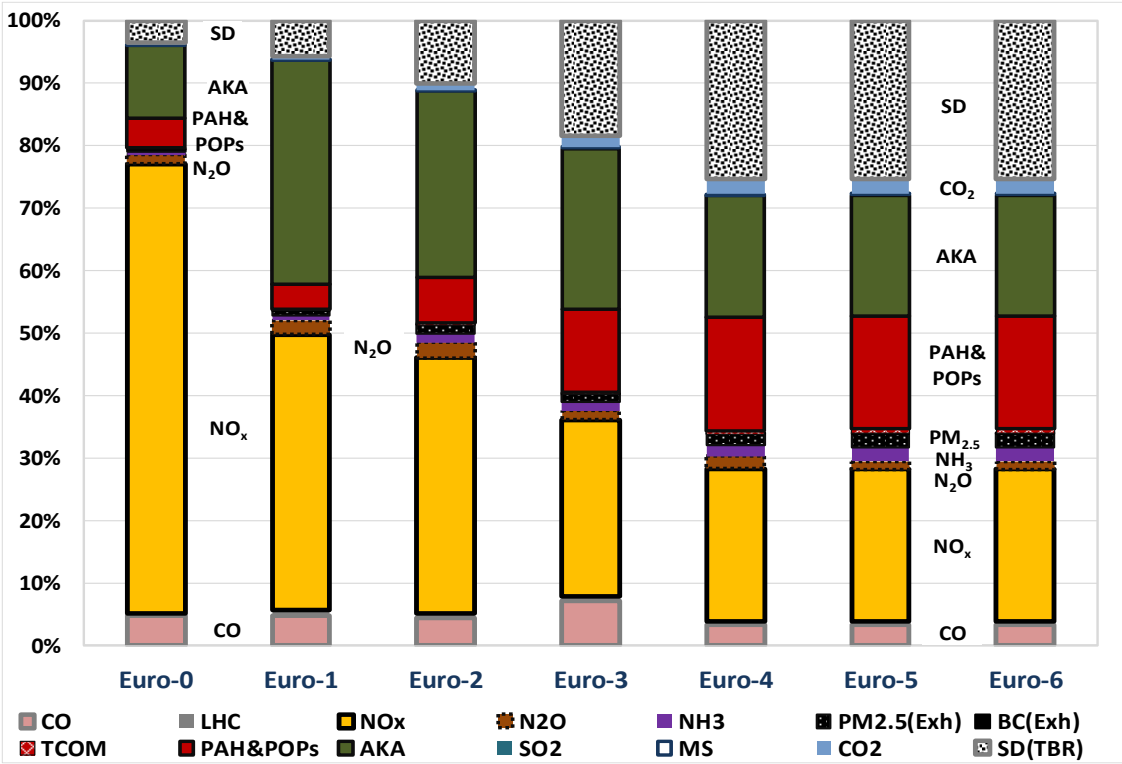


Рисунок 5.21 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність автомобілів з бензиновим двигуном залежно від класу «Євро» [395]

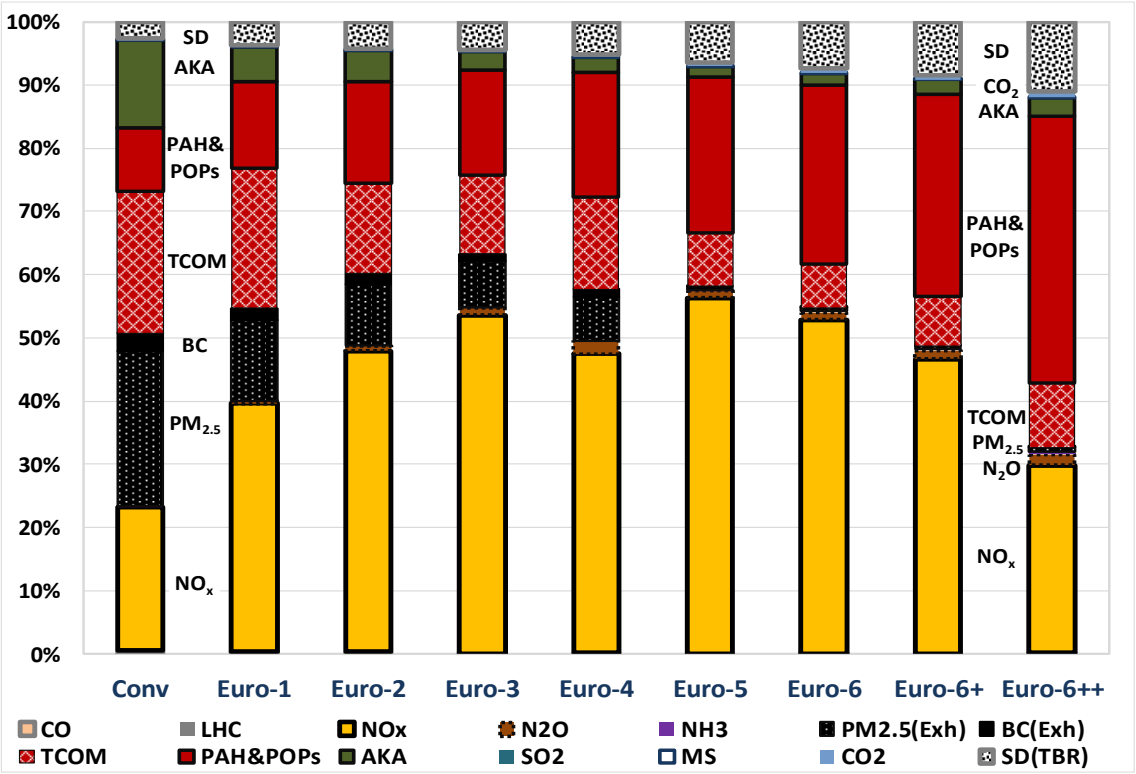


Рисунок 5.22 – Внесок (%) різних забруднювачів у загальну токсичність автомобілів з дизелями залежно від класу «Євро» [395]

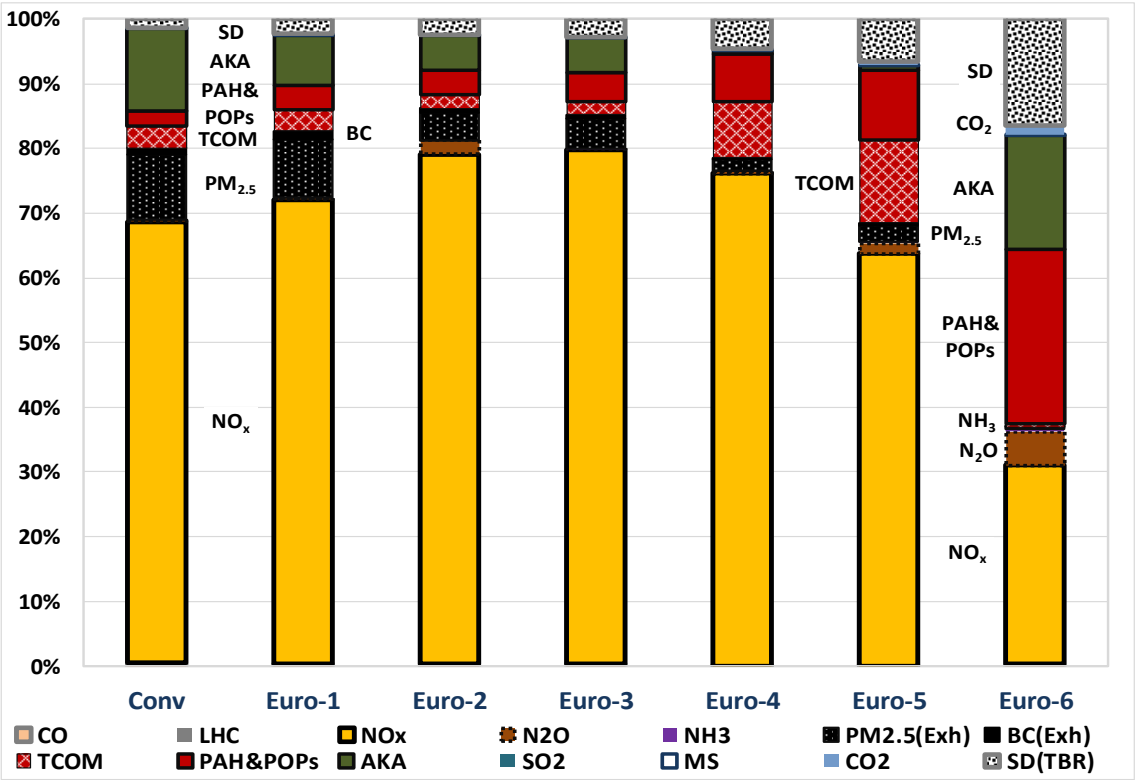


Рисунок 5.23 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність міських автобусів з дизелями залежно від класу «Євро» [395]

Внесок викидів CO2 у загальну сукупну токсичність протягом останніх двох десятиліть підвищився з 0,2% до 0,9% для дизельних двигунів та з 0,8% до 2,3% для автомобілів, що працюють на бензині. Більш високі значення, природно, відповідають вищому екологічному класу транспортних засобів, як результат зниження частки масових викидів (і сумарного токсичного впливу) інших забруднювальних речовин. Це доводить доцільність враховувати CO2 не тільки як парниковий газ, але й певною мірою як токсичний забруднювач.

Вклад оксидів азоту (NOx)

Оксиди азоту (NOx) мають істотний внесок у сукупну токсичність.

Внесок NOx бензинових легкових автомобілів зменшився з 77% для «Євро-0», потім до 35% для «Євро-2» та до 24% для «Євро-6.

Внесок NOx у зведену токсичність легкових автомобілів з дизелями становив 24% для «Євро-0» через високу частку PM-продуктів, потім був збільшений до приблизно 1/2 для «Євро-2» - «Євро-6», і стає значно нижчим (приблизно до 30%) лише для «Євро-6++».

Внесок NOx у міських автобусів з дизелями становив 68% для «Євро-0», потім 79% для «Євро-2» і ставав значно нижчим (приблизно до 31%) для «Євро-6».

Внесок альдегідів, кетонів та ароматичних вуглеводнів

Викиди альдегідів та кетонів разом із викидами ароматичних вуглеводнів (відповідно, групи II, III та IV) можуть внести значний (3–18% для дизелів та 19–26% для бензинових двигунів) внесок до загальну токсичність.

Їх внесок показує принципові відмінності для міських автобусів класів «Євро-4» та «Євро-5» проти «Євро-6». Ймовірно, це можна розглядати як небажаний результат сучасної технології селективного каталітичного відновлення.

Внесок поліциклічних ароматичних вуглеводнів та стійких органічних забруднювачів

Особливо небезпечними є викиди поліциклічних ароматичних

вуглеводнів та стійких органічних забруднювачів (група V).

Їх «внесок» для бензинових двигунів збільшується з 4% для «Євро-0», потім до 6% для «Євро-2» і до 18% для «Євро-6».

Цей «внесок» збільшується для легкових автомобілів з дизелями з 11% для «Євро-0», до 16% для «Євро-2» та до 42% для «Євро-6».

Цей «внесок» збільшується для міських автобусів з дизелями з 2% для «Євро-0» до 4% для «Євро-2» і до 27% для «Євро-6».

Внесок твердих частинок

Викиди частинок (PM) (Група VI) з різних джерел, особливо з відпрацьованими газами дизелів також суттєво сприяють загальній токсичності технологій транспортних двигунів минулих років (до 27% для «Євро-0» і 10% для «Євро-2»). Тим не менше, транспортні засоби з технічно справними дизелями «Євро-6» демонструють доволі малий «внесок» PM у сумарну токсичність.

Але, слід зазначити, що сучасні автомобілі з дизелями рівня «Євро-6» демонструють в цьому аналізі невелику частку PM (і навіть TCOM для важких транспортних засобів (HDV)) на основі вимірювання лише їх масових викидів.

Фактична токсичність PM, включаючи рахункову кількість частинок (PN), та враховуючи токсичність найдрібніших частинок та їх реальний внесок у сукупну токсичність, мають бути предметом подальших досліджень.

Внесок сполук сірки

Викиди сполук сірки (VII група) та металів (VIII група) не мають вирішального ефекту (до 0,1% внеску), однак є методологічно важливими з багатьох причин, як це обговорюється нижче.

Внесок продуктів зношування

Викиди забруднювальних речовин груп VI, VII, VIII та V із продуктами зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальмівних колодок мають суттєвий «внесок» (до 16–25%) у загальну токсичність транспортних засобів високих екологічних класів («Євро-5» та «Євро-6»).

Ці викиди також показують вагомий внесок у забруднення від електромобілів, які насправді не є транспортними засобами з нульовим рівнем викидів, як вважалося раніше.

Виправдані пріоритети майбутнього державного регулювання у сфері захисту атмосферного повітря від забруднення дорожніх транспортних засобів можуть базуватися, зокрема, і на результатах цього дослідження та пропозиціях, сформульованих нижче.

Отримані результати дозволяють зробити деякі висновки та визначити пріоритети у подальшому законодавчому регулюванні викидів різних шкідливих речовин транспортом:

1. Оксиди азоту (NOx) все ще залишаються значним, але вже не найбільш вирішальним предметом для встановлення більш жорстких норм викидів. Їх внесок у сукупну токсичність демонструє тенденцію до зменшення.

2. Викиди особливо небезпечних поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАУ) та стійких органічних забруднювачів (СОЗ), що додаються альдегідами, кетонами та ароматичними вуглеводнями, перетворюються на найважливіший (найбільш критичний) предмет технічного регулювання в майбутніх нормах викидів транспортних засобів, а також стандартів якості моторних палив.

3. Хоча найновіші транспортні засоби з дизелями «Євро-6» демонструють незначно малий внесок PM з огляду на їх масові викиди, їх викиди слід додатково обмежити о огляду на вміст найнебезпечніших компонентів зважених частинок, що складаються з адсорбованих на розвиненій поверхні частинок і адсорбованих їх рідким компонентом ПАУ, СОЗ, альдегідів, кетонів та ароматичних вуглеводнів. Технологія прямого впорскування бензину також має бути предметом подальшого регулювання PM, враховуючи значні обсяги викидів наночастинок. Потребують подальшого вдосконалення методи визначення емісії PM з врахуванням їх дисперсного і хімічного складу.

4. Закис азоту (N2O) стає доволі помітним компонентом зведеної токсичності для дизелів.

5. Подальше зниження вмісту сірки в моторних паливах, на перший погляд, мабуть не має сенсу, враховуючи незначний внесок у зведену токсичність прямих викидів сполук сірки з відпрацьованими газами, але потребує подальших досліджень, зокрема, щодо впливу на процесу утворення PM (впливу на масові викиди, дисперсний та хімічний склад), а також негативного впливу на елементи систем нейтралізації відпрацьованих газів, а також питань експлуатаційних характеристик та довговічності паливної апаратури. Вплив подальшого можливого зменшення вмісту сірки в моторних паливах на утворення кислотних опадів та інших негативних явищ в атмосферному повітрі міст має бути предметом додаткових досліджень.

6. Сукупні викиди продуктами зношування пневматичних шин, дорожнього покриття та гальмівних колодок стають важливим фактором. Потенціал, технологічні можливості та економічна доцільність зниження цих викидів є відкритими питаннями.

7. Сукупні викиди із продуктами зношування мають важливе значення, оскільки їх можна розглядати як нижню межу теоретично можливого і доцільного зниження сукупних викидів автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння. Тому вони є «бекграундом» для обґрунтування майбутніх норм викидів, як достатньо ефективними, адекватними та доцільними.

Викиди шкідливих речовин з продуктами зношування, згаданими вище, визначають нижню межу (або теоретичний потенціал) для подальшого зниження сукупної токсичності двигунів внутрішнього згоряння, на рівні приблизно 3–5 г/км сумарних зведених окиду вуглецю забруднювальних речовин для легкових автомобілів та близько 3–6 г/ткм для важких транспортних засобів (вантажних автомобілів та автобусів).

Наведені вище результати опубліковано автором у [395].

5.7. Викиди забруднювальних речовин легковими автомобілями, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США

Результати дослідження викидів забруднювальних речовин легковими автомобілями, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, наведено у додатку 12 та опубліковано у [397, 398].

Вперше досліджено велику репрезентативну вибірку легкових автомобілів (1109 одиниць) та автомобілів категорії SUV (48 автомобілів), розроблених і сертифікованих раніше відповідно до вимог північно-американських стандартів, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, на предмет відповідності встановленим нормам викидів забруднювальних речовин при випробуванні в європейському їздовому циклі NEDC.

Це дозволило вперше отримати характеристики розподілу цієї продукції вимогам екологічних стандартів за окремими нормованими компонентами.

Встановлено, що значна частина продукції світової автомобілебудівної промисловості насправді не відповідає вимогам північно-американських та європейських технічних регламентів щодо підтримання встановлених екологічних норм протягом встановленого періоду експлуатації та пробігу.

Також отримано нові залежності погіршення екологічних властивостей великої вибірки автомобілів по мірі збільшення їх загального пробігу.

Вперше встановлено, що системи OBD на автомобілях провідних автовиробників Японії, США та Європи насправді тотально не виконують задекларовану функцію повідомлення про перевищення встановлених нормативних значень питомих викидів.

Шляхом порівняння результатів визначення питомих масових викидів забруднювальних речовин у європейському їздовому циклі та результатів визначення концентрацій оксиду вуглецю і вуглеводнів відповідно до ДСТУ-

4277 та результатів визначення концентрацій оксиду вуглецю та коефіцієнту надміру повітря за європейськими стандартами технічного огляду, доведено, що результати інструментального контролю за діючими стандартами технічного огляду не мають жодного відношення до масових питомих викидів автомобілями під час руху. Таким чином, доведено неефективність вітчизняних та європейських стандартів технічного огляду в частині інструментального контролю їх екологічної небезпеки. Це підтверджує необхідність розроблення нових підходів у цій сфері. Одним з запропонованих елементів вирішення цієї проблеми є розроблена та запатентована автором технологія «мікро-CVS», описана у 4-му розділі, що має надати доступний для широкого використання метод визначення масових викидів забруднювальних речовин безпосередньо на борту транспортного засобу під час.

5.8. Рекомендації щодо напрямів подальших досліджень

Подальші перспективні дослідження у цій сфері повинні включати розробку насамперед таких технічно складних частин, як [391]:

- стандартні значення (значення за «замовченням») системи динамічних рівнів екологічної небезпеки (EHL), що охоплюватимуть всі типи дорожніх транспортних засобів, що використовують різні моторні палива;
- системи показників енергоефективності, що у поєднанні більш точно відображатимуть фактичне споживання енергії в різних конкретних умовах руху, на відміну від результатів тестування в стандартизованих їздових циклах;
- системи класифікації акустичного шуму (звукового тиску) транспортних засобів, як корисної опції системи диференціації доступу;
- системи факторів, що відображатимуть інтенсивність руйнування дорожнього покриття та утворення продуктів зношування пневматичних шин та дорожнього покриття;

- відповідних національних електронних баз даних та технічних засобів контролю.

Далі слід розробити стандарти щодо принаймні єдиної системи регулювання екологічних зон, включаючи маркування транспортних засобів (як для маркетингових цілей у точках продажу, так і дизайну бортових екологічних наклейок) та форми подання даних у нових дорожніх знаках, відповідно до концепції [391].

5.9. Висновки до розділу 5

1. Розроблено основи прогресивної системи регулювання істотних екологічних властивостей дорожніх транспортних засобами разом із системою показників ефективності використання енергії та рівня екологічної небезпеки.

2. Запропонована концепція уніфікованого екологічного маркування транспортних засобів не тільки поєднує в стабільній системі минулі, нинішні та майбутні технології, і не тільки є технологічно нейтральною, але й об'єднує на єдиній основі, в єдину глобальну систему транспортні засоби, розроблені, затверджені та вироблені за несумісними екологічними стандартами, що впроваджені у різних регіонах світу.

3. Розроблено пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом.

4. Розроблено підходи до регулювання показників викидів CO2 та енергоспоживання дорожніми транспортними засобами в України.

5. Розроблено пропозиції щодо концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів.

6. Отримано результати дослідження зведених викидів забруднювальних речовин автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки.

7. Запропоновано принципово нову уніфіковану систему маркування рівнів екологічної небезпеки дорожніх транспортних засобів в частині інгредієнтного забруднення та, відповідно, рівнів диференційованих екологічних зон в містах, що має ряд істотних переваг у порівнянні з численними варіантами несумісних між собою систем, що впроваджені різними країнами світу.

8. Вперше визначено обґрунтовані рівнів вимог до транспортних засобів в екологічних зонах, що є доцільним запроваджувати в Україні та методами математичного моделювання вперше отримано прогнози зменшення усередненого рівня зведених викидів забруднювальних речовин від транспортних потоків за рахунок впровадження екологічних зон різного рівня вимог.

9. Вперше отримано результати комплексного дослідження агрегованої токсичності дорожніх транспортних засобів, що включає 64 види забруднювальних речовин, що запропоновано як основу для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря.

На підставі отриманих результатів сформульовано обґрунтовані пропозиції щодо подальшого технічного регулювання норм викидів з відпрацьованими газами транспортних засобів основних видів токсичних речовин.

10. Вперше досліджено велику репрезентативну вибірку легкових автомобілів (1109 одиниць) та автомобілів категорії SUV (48 автомобілів), розроблених і сертифікованих раніше відповідно до вимог північно-американських стандартів, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, на предмет відповідності встановленим нормам викидів

забруднювальних речовин при випробуванні в європейському їздовому циклі NEDC.

11. Це дозволило вперше отримати характеристики розподілу цієї продукції вимогам екологічних стандартів за окремими нормованими компонентами.

12. Встановлено, що значна частина продукції світової автомобілебудівної промисловості насправді не відповідає вимогам північно-американських та європейських технічних регламентів щодо підтримання встановлених екологічних норм протягом встановленого періоду експлуатації та пробігу.

13. Також отримано нові залежності погіршення екологічних властивостей великої вибірки автомобілів по мірі збільшення їх загального пробігу.

14. Вперше встановлено, що системи OBD на автомобілях провідних автовиробників Японії, США та Європи насправді масово не виконують задекларовану функцію повідомлення про перевищення встановлених нормативних значень питомих викидів.

15. Шляхом порівняння результатів визначення питомих масових викидів забруднювальних речовин у європейському їздовому циклі та результатів визначення концентрацій оксиду вуглецю і вуглеводнів відповідно до ДСТУ-4277 та результатів визначення концентрацій оксиду вуглецю та коефіцієнту надміру повітря за європейськими стандартами технічного огляду, доведено, що результати інструментального контролю за діючими стандартами технічного огляду на практиці не мають кореляції із значеннями масових питомих викидів автомобілями під час руху. Таким чином, доведено неефективність вітчизняних та європейських стандартів технічного огляду. Це підтверджує необхідність розроблення нових підходів у цій сфері. Одним з запропонованих елементів вирішення цієї проблеми є розроблена та запатентована автором технологія «мікро-CVS», описана у 4-му розділі, що

має надати доступний для широкого використання метод визначення масових викидів забруднювальних речовин безпосередньо на борту транспортного засобу під час руху на дорозі.

Розділ 6. Підвищення ефективності використання енергії та забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами в експлуатації

6.1. Дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями

Метою дослідження в цій частині було розроблення науково обґрунтованих адекватних моделей прогнозування споживання палива і вдосконалення системи нормування витрат палива на автомобільному транспорті, надання рекомендацій щодо методів раціонального використання енергоносіїв (окремі результати було опубліковано, зокрема, в [441, 442]).

В рамках проведеного в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» дослідження впливу особливостей конструкції нових типів колісних транспортних засобів та сучасних умов експлуатації на споживання палива, наприклад, експериментально визначено паливні характеристики сталого руху п’яти моделей сучасних автомобілів: Mazda 6 2.0 5AT (далі – «Mazda»), Fiat Doblo 1.9TD 5MT (далі – «Fiat»), Hyundai Tucson 2.0 5MT4WD (далі – «Hyundai»), Mitsubishi Outlander XL 3.0 5AT4WD (далі – «Mitsubishi»), Toyota Avensis 1.8 5MT (далі – «Toyota»).

Дорожні випробовування зазначеної групи автомобілів проведено на атестованій ділянці дороги відповідно до вимог ГОСТ 20306-90 та в реальних експлуатаційних умовах.

Встановлено, що найбільш економічний режим сталого руху сучасних автомобілів знаходиться (залежно від конструкції та режиму роботи трансмісії) орієнтовно в діапазоні швидкостей від 50 до 65 км/год. Рух зі сталими швидкостями нижче 50 км/год є (за відсутності обмежень руху) економічно недоцільним. Питома витрата палива на одиницю пройденого

шляху стрімко збільшується по мірі подальшого зниження швидкості, та за швидкостей нижче за 20 км/год різко наближується до нескінченності (рис. 1).

Для всіх зазначених автомобілів спостерігається суттєве зростання питомої витрати палива (л/100км) починаючи зі швидкостей 70 км/год та вище (на рис. 2 показано збільшений фрагмент паливних характеристик, наведених на рис. 6.1). Рух зі сталою швидкістю 60...70 км/год є суттєво більш економічним у порівнянні зі швидкістю 80 км/год та, особливо, більш високими швидкостями (рис. 6.2 – рис. 6.3).

Показано, що перевищення швидкісного режиму призводить (навіть за умов сталого руху) до суттєвої перевитрати палива. Отримані дані підтверджують виключну важливість дотримання водіями встановленого правилами дорожнього руху швидкісного режиму з точки зору економії моторних палив (рис. 6.3).

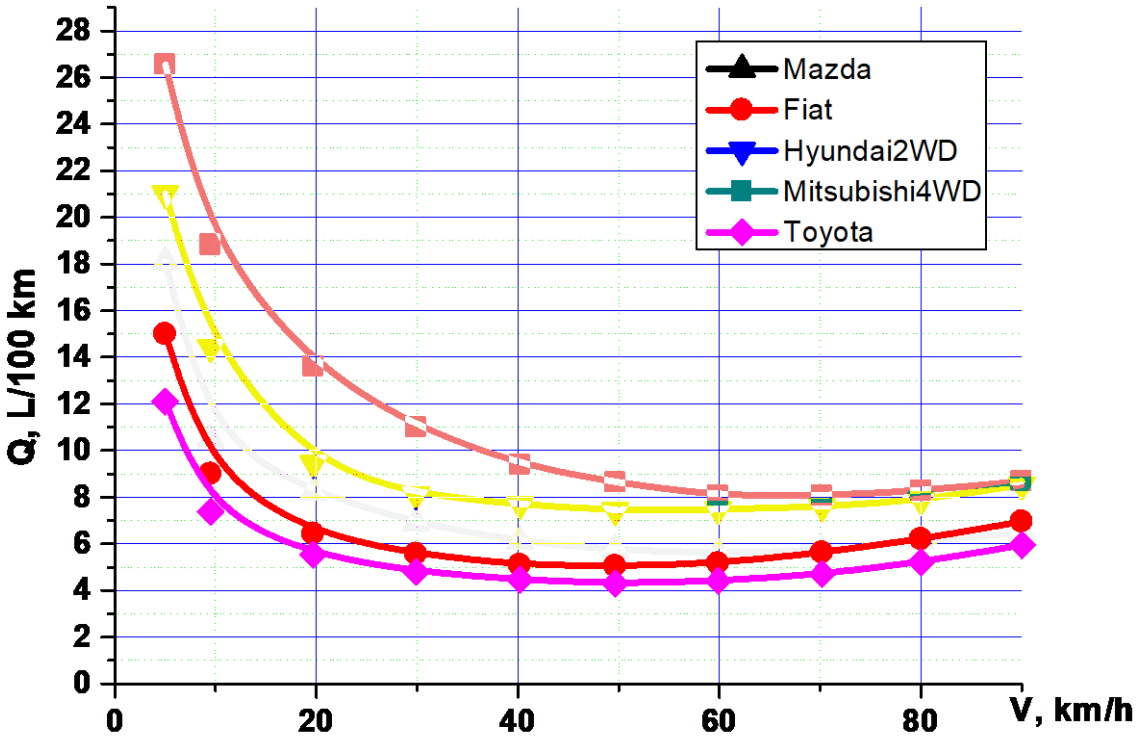


Рисунок 6.1 – Паливні характеристики сталого руху сучасних автомобілів (питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від швидкості V, km/h (км/год) [441, 442]

Вивчено вплив на витрату палива поїздок на короткі відстані із непрогрітим або частково прогрітим двигуном та трансмісією, що має велике значення з точки зору пошуку шляхів адекватного врахування таких умов експлуатації при розрахунках нормативних витрат із забезпеченням дотримання режиму економного використання енергетичних ресурсів (рис. 6.4 – рис. 6.5).

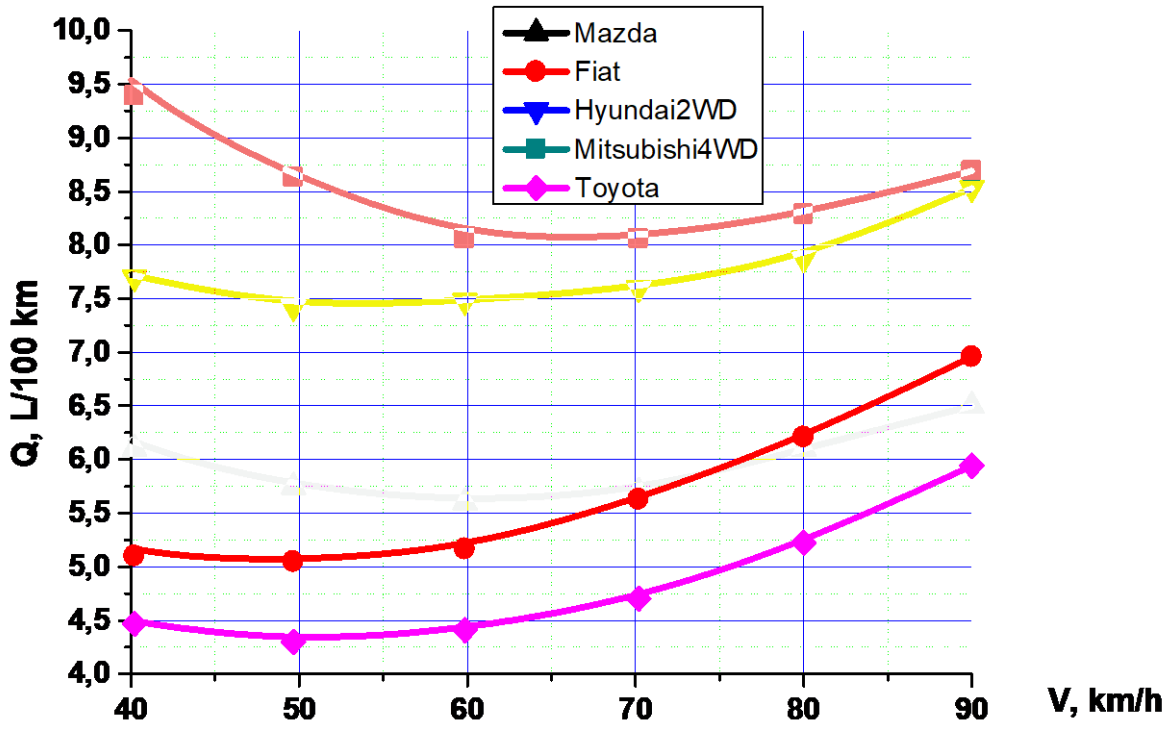


Рисунок 6.2 – Паливні характеристики сталого руху сучасних автомобілів (питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від швидкості V, km/h (км/год)] в діапазоні швидкостей 40...90 км/год [441, 442]

В результаті дослідження впливу на витрату палива поїздок на короткі відстані із непрогрітим або частково прогрітим двигуном та трансмісією двигуна встановлено, що при русі містом із лише частково прогрітим двигуном та непрогрітою трансмісією витрата палива, яка припадає на перші 8 км пройденого шляху суттєво відрізняється від витрати палива після стабілізації теплового режиму роботи агрегатів, а для деяких автомобілів інтенсивна фаза процесу стабілізації теплового стану та механічних витрат не

закінчується навіть на відмітці пройденого шляху у 13 км. Також показано, що суттєвий вплив на тривалість та характер інтенсивної фази процесу стабілізації теплового стану і механічних витрат (та, відповідно, питомої витрати палива) має варіант використання приводу автомобілів. Тривалість інтенсивної фази процесу стабілізації питомої витрати зростає приблизно у двічі при використанні привода на всі колеса (рис. 6.4 – 6.5).

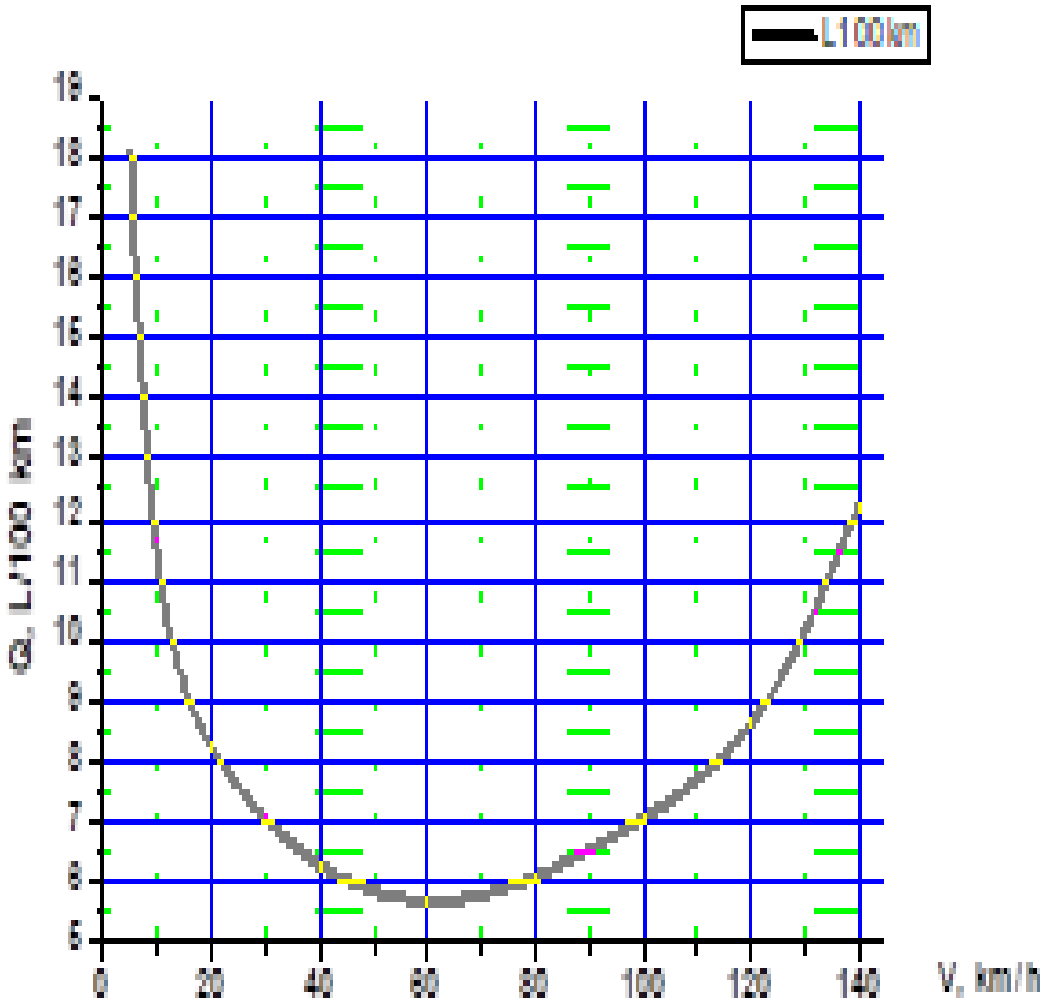


Рисунок 6.3 – Паливна характеристика сталого руху автомобіля Mazda 6 2.0 5AT [питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від швидкості V, km/h (км/год)] у більш розширеному діапазоні швидкостей [441, 442]

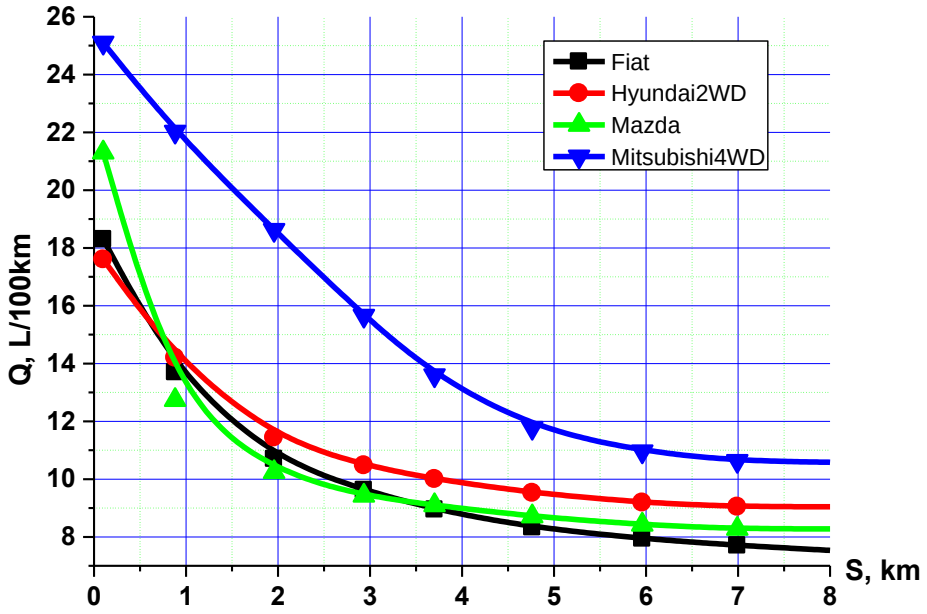


Рисунок 6.4 – Витрата палива при русі містом залежно від пробігу автомобіля із лише частково прогрітим двигуном (питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від пробігу S, km (км)) [441, 442]

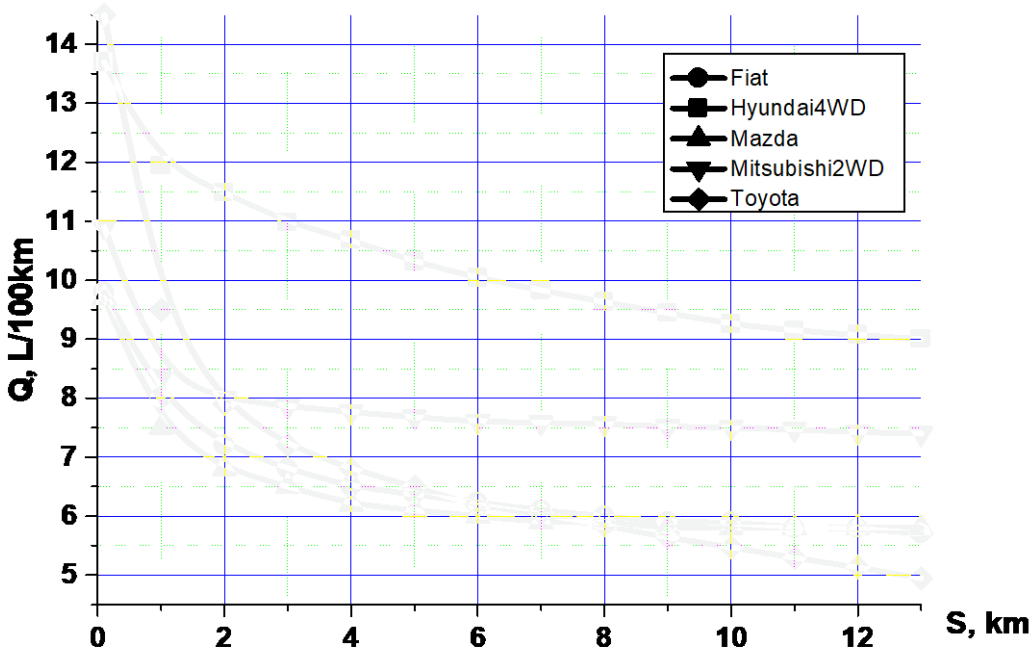


Рисунок 6.5 – Витрата палива при русі з постійною швидкістю 60/км/год залежно від пробігу автомобіля після 30-хвилинної стоянки [питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від пробігу S, km (км) [441, 442]

На рис. 6.6 показано експериментально отриманий тренд зміни питомої витрати палива сучасного автомобіля Mazda 6 2.0 5AT від пробігу, визначений за різних температур оточуючого середовища при русі в умовах міста. Рух починався через 10 секунд після запуску двигуна. Температура двигуна та інших агрегатів під час пуску дорівнювала температурі навколишнього середовища.

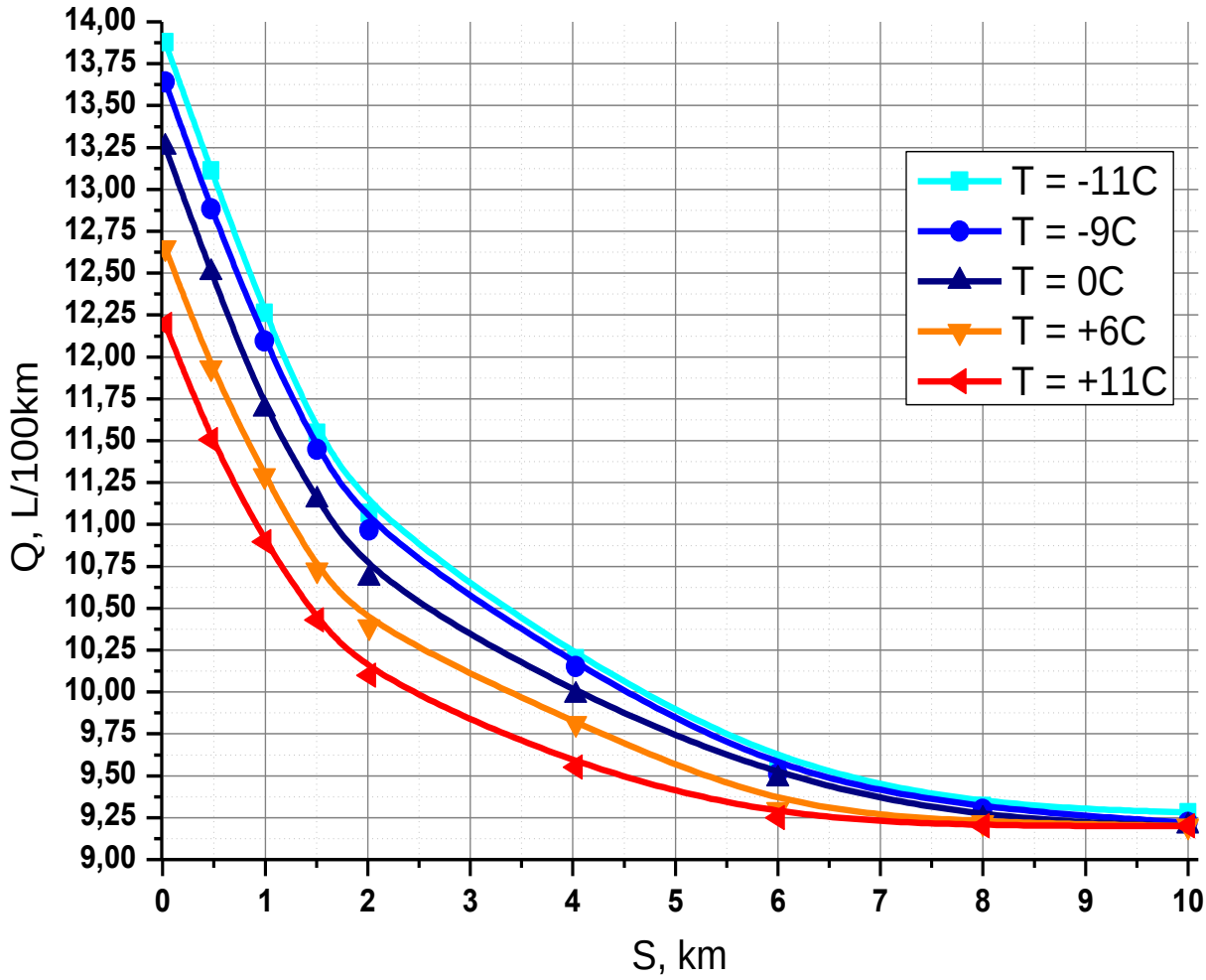


Рисунок 6.6 – Тренд зміни питомої витрати палива сучасного автомобіля від пробігу, визначений за різних температур оточуючого середовища при русі в умовах міста (після холодного старту) (питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від пробігу S, km (км) для різних температур) [441, 442]

На рис. 6.7 показано експериментально отримані залежності питомої витрати палива сучасного автомобіля Mazda 6 2.0 5AT від температури оточуючого середовища при русі в умовах міста та холодному старті (дані наведено для різних відміток пройденого шляху). Рух починався через 10 секунд після запуску двигуна. Температура двигуна та інших агрегатів під час пуску дорівнювала температурі навколишнього середовища.

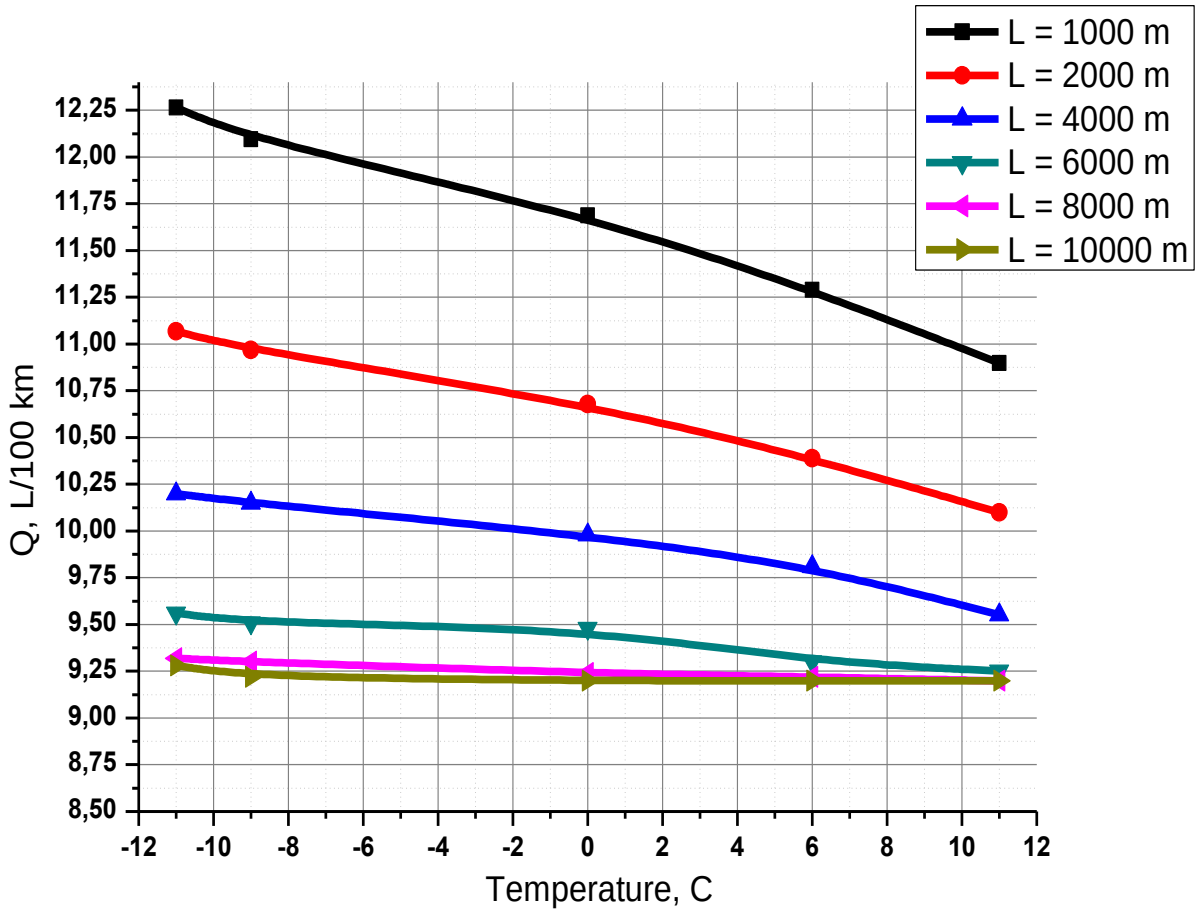


Рисунок 6.7 – Вплив температури оточуючого середовища на паливну економічність сучасного автомобіля (після холодного старту) (питома витрата палива Q, L/100km (л/100км) в залежності від пробігу S, km (км) для різних температур) [441, 442]

Експериментально отримано тренд зміни питомої витрати палива сучасного автомобіля від пробігу, що визначено за різних температур оточуючого середовища при русі в умовах міста. Отримано залежності

питомої витрати палива сучасного автомобіля від температури оточуючого середовища при русі в умовах міста та холодному старті для різних відміток пройденого шляху. Показано, що зміна температури оточуючого середовища в межах від -11°С до +11°С практично не впливає на питому витрату палива сучасного автомобіля (навіть з автоматичною трансмісією) вже після 10 км пробігу (навіть із попереднім холодним стартом). В той же час температура оточуючого середовища суттєво впливає на питому витрату палива при поїздках на короткі відстані. Зменшення температури оточуючого середовища від +11°С до -11°С (на 22 °С) призводить до збільшення питомої витрати палива для поїздок на відстань 2 км і 5 км відповідно на ≈ 10 % та ≈ 5 %. Також показано, що на практиці (при поїздках на короткі відстані) спостерігається збільшення витрати палива (у порівнянні із теплим періодом року) вже при температурах, дещо більше 0°С (рис. 6).

В той час, як попередньою редакцією нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» передбачено збільшення нормативних витрат палива починаючі лише від мінусових температур, на практиці спостерігається збільшення витрати палива (у порівнянні із теплим періодом року) вже при температурах, дещо більше 0°С. Наприклад, зменшення температури оточуючого середовища від +11°С до 0°С (на 11 °С) призводить до збільшення питомої витрати палива для поїздок на відстань 2 км и 5 км відповідно на ≈ 5 % та ≈ 3 %.

На рис. 6.8 показано експериментально отримана залежність витрати палива сучасного автомобіля Mazda 6 2.0 5AT під час розгону із середньостатистичним прискоренням 1 м/с^2 в залежності від кінцевої швидкості.

На рис. 6.9 та рис. 6.10 показані залежності витрати палива сучасного автомобіля Mazda 6 2.0 5AT від параметрів фрагменту елементарного їздового циклу, що складається з прискорення із середньостатистичним прискоренням 1 м/с2 та подальшого руху із постійною швидкістю на певну дистанцію. На

графіках наведено сумарний шлях дистанції, що включає розгін та рух з постійною швидкістю решту шляху.

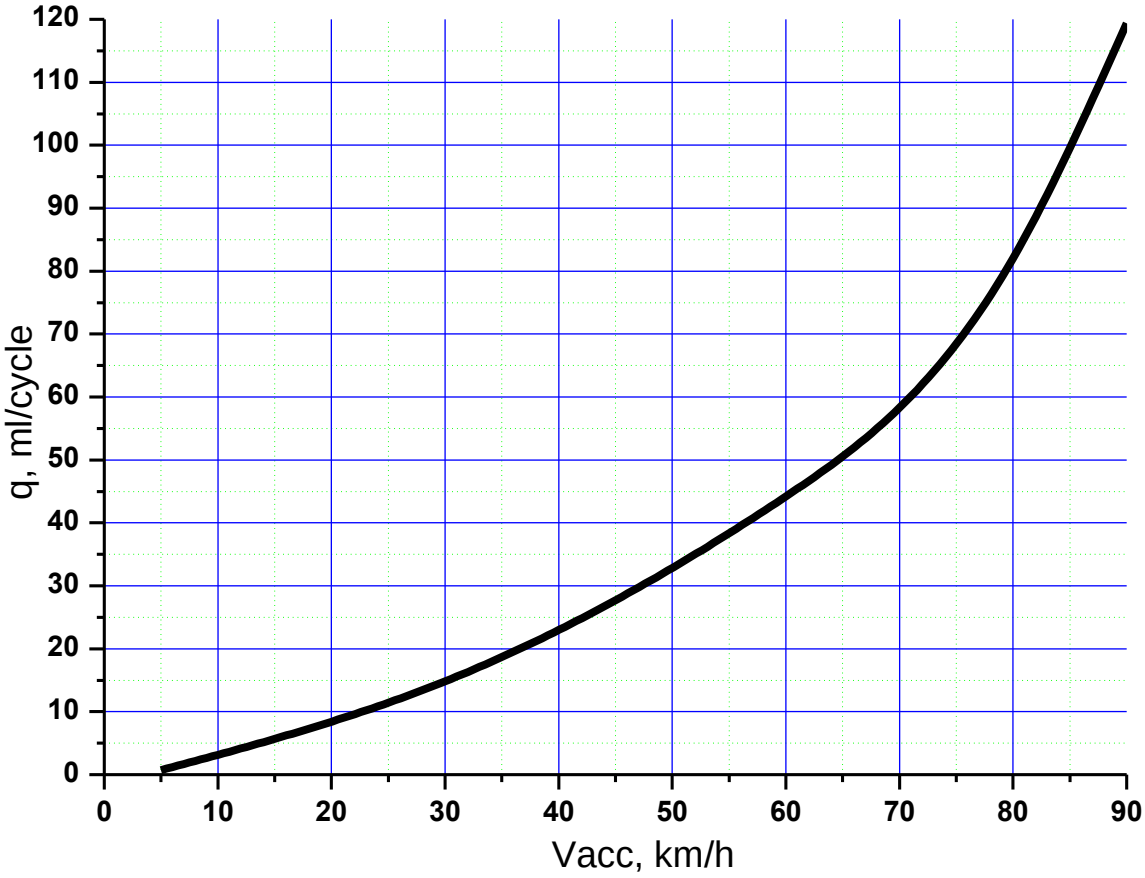


Рисунок 6.8 – Витрата палива (q, ml/cycle (мл/цикл)) сучасного автомобіля під час розгону в залежності від кінцевої швидкості (Vacc, km/h (км/год)) [441, 442]

Для автомобіля, що було досліджено, залежність витрати палива на операцію розгону добре описується квадратичною залежністю відповідно до закону зміни кінетичної енергії автомобіля, що рухається, при відносно невеликих швидкостях. Починаючі зі швидкості біля 70 км/год та вище стає більш вагомою частка енергії палива, що витрачається під час розгону на подолання сили опору повітрю (аеродинамічна складова), що також може бути описана квадратичною залежністю від швидкості.

Отже, експериментально визначено залежність витрати палива сучасного автомобіля під час прискорення від кінцевої швидкості розгону. Аналітично

досліджено залежності витрати палива сучасного автомобіля у так званому фрагменті елементарного їздового циклу від його довжини, що отримані для різних кінцевих швидкостей розгону (рис. 6.9). Фрагмент елементарного їздового циклу складається у даному випадку із фази прискорення автомобіля до заданої швидкості та фази сталого руху з цією швидкістю. Наведені на рис. 9 залежності питомої витрати палива (л/100км) від швидкості розгону відповідають різним сумарним дистанціям руху. Наприклад, витрата палива при прискоренні автомобіля з місця до швидкості 50 км/год та наступному руху з цією швидкістю решти загальної дистанції у 500 м становитиме близько 11 л/100км. В цих же умовах, але на дистанції 100 м (більш щільний рух) витрата становитиме вже близько 32 л/100км. Витрата палива при русі з постійною швидкістю 50 км/год (крива із позначенням V = const на рис. 6.9) становитиме всього 6 л/100км. Показано, що витрата палива сучасного легкового автомобіля змінюється в дуже широких межах залежно від умов руху (щільності руху, числа зупинок на одиницю пробігу, обраного швидкісного режиму тощо).

Як видно з рис. 6.9 і 6.10 витрата палива сучасного легкового автомобіля змінюється в дуже широких межах залежно від умов руху (щільності руху, числа зупинок на одиницю пробігу, обраного швидкісного режиму тощо).

Показані на рис. 6.9 і 6.10 залежності дані корелюють із реальними експлуатаційними витратами, отриманими в реальних їздових циклах на різних маршрутах (різних умовах руху) міста Києва за умов повністю прогрітого автомобіля.

Звичайно за наведеним елементарним циклом слідує уповільнення або гальмування автомобіля. Як добре видно з даних рис. 9 і 10 переважна частина енергії палива при русі у стиснених міських умовах перетворюється в енергію нагріву елементів гальмівної системи звичайного автомобіля (автомобіля, що не має системи рекуперації енергії).

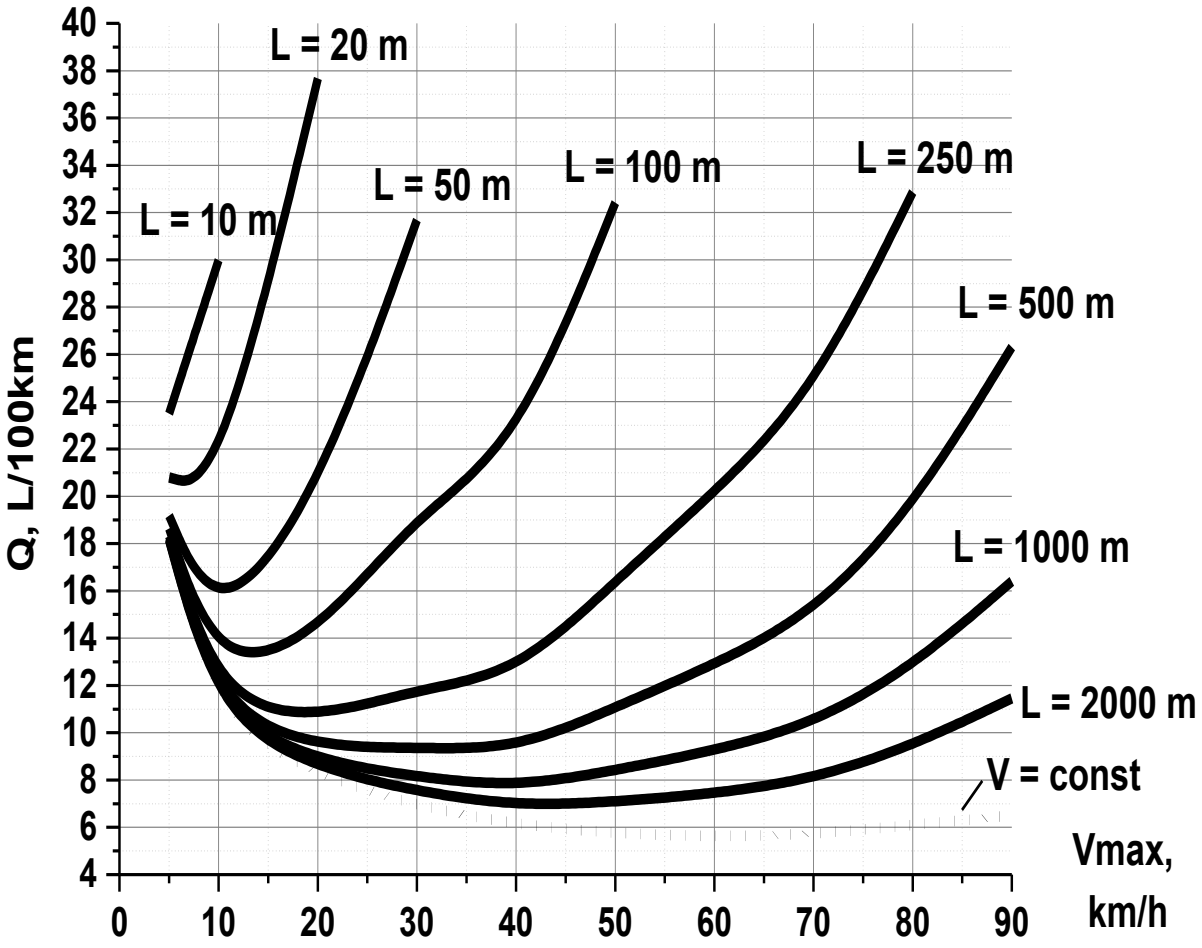


Рисунок 6.9 – Залежності витрати палива сучасного автомобіля (Q, L/100km (л/100 км)] у фрагменті елементарного їздового циклу від кінцевої швидкості розгону (Vmax, km/h (км/год)] для різної довжини [L, m (м)) циклу [441, 442]

Розрахункові витрати палива (рис. 6.9 і 6.10), отримані з використанням наведених залежностей елементарних їздових циклів та паливних характеристик корелюють (із врахуванням теплового стану) із реальними експлуатаційними витратами, отриманими в реальних їздових циклах на різних маршрутах (різних умовах руху) міста Києва.

На рис. 6.11 наведено один із найбільш показових прикладів зміни питомої витрати палива (л/100км) залежно від умов руху.

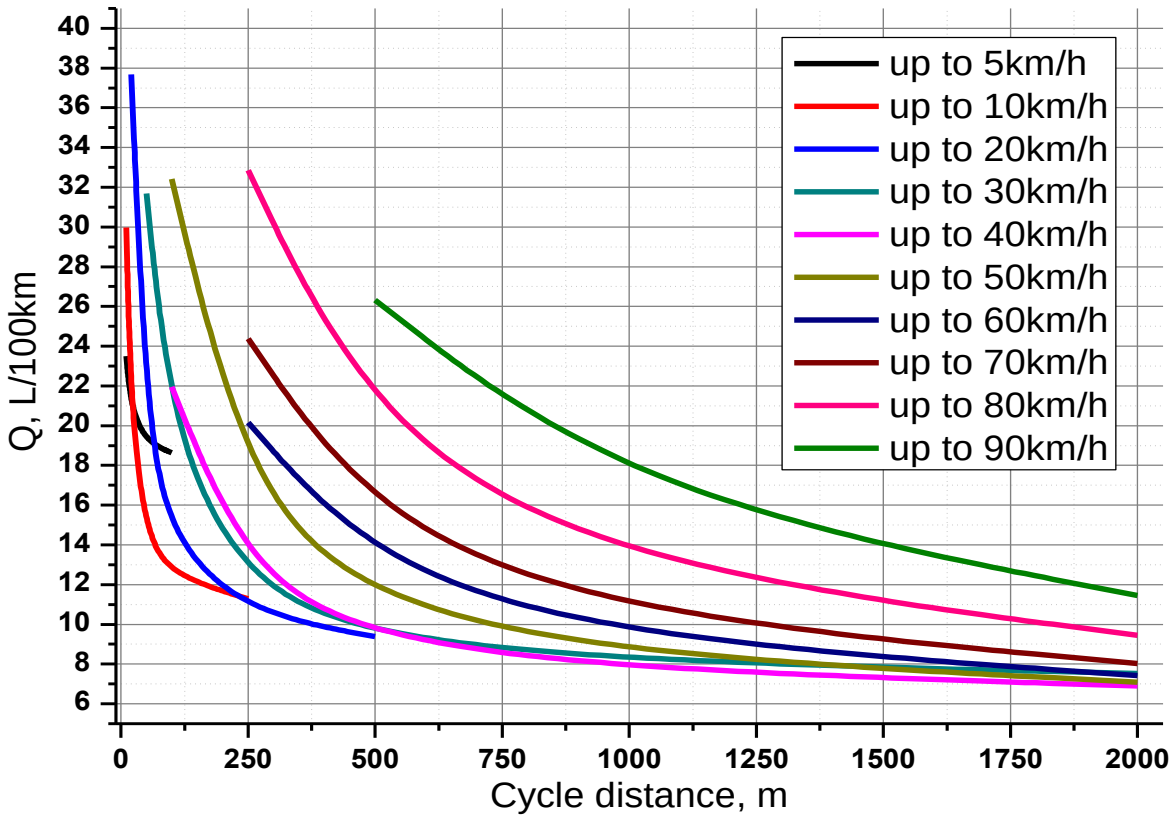


Рисунок 6.10 – Залежності витрати палива сучасного автомобіля (Q, L/100km (л/100 км)] у фрагменті елементарного їздового циклу від довжини циклу (Cycle distance, m (м)], отримані для різних кінцевих швидкостей розгону [up to ... km/h (розгін до ... км/год)) [441, 442]

У приміської зоні “suburb” отримано витрату 8,6 л/100км.

На дільниці маршруту, що охоплює рух відносно швидкісними міськими магістралям та рух через центр міста (включаючи пробки) „city hw+center” отримано витрату 15,2 л/100км.

На дільниці маршруту, що охоплює щільний рух тільки центром (включаючи пробки) отримано витрату 18,1 л/100км.

На дільниці маршруту довжиною 3,5 км, що охоплює рух у транспортному заторі (середня швидкість склала 3,5 км/год), отримано витрату 32,0 л/100км.

При цьому загальна витрата за весь маршрут становила 11,5 л/100км.

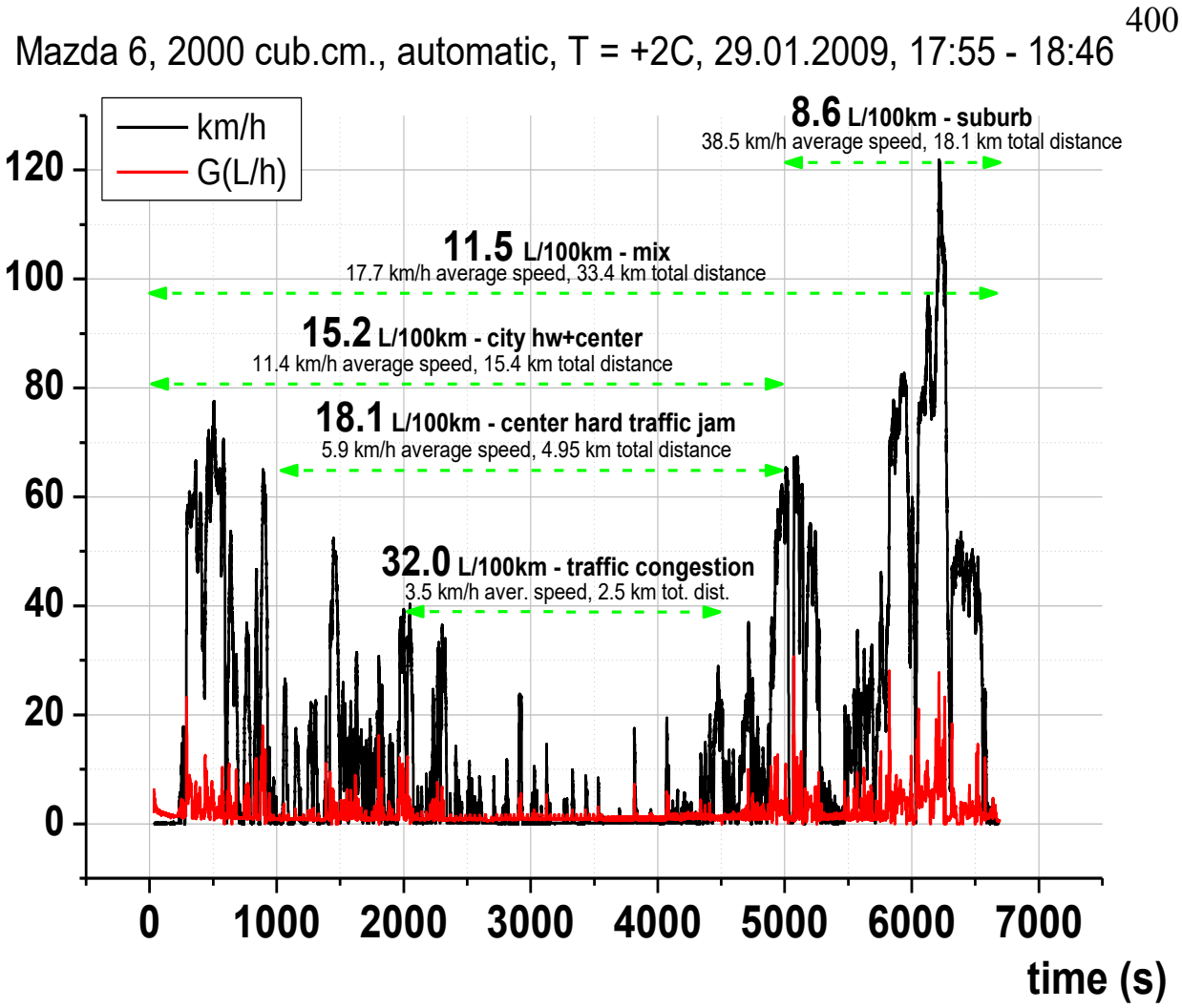


Рисунок 6.11 – Приклад зміни усередненої питомої витрати палива (л/100км) та миттєвої годинної витрати палива (G(L/h) – (л/год)) залежно від умов руху (time (s) – час у секундах) [441, 442]

Наведений приклад та в цілому досвід експлуатації показує, що експлуатаційна витрата палива може змінюватися у місті залежно від умов руху майже у три рази на конкретних маршрутах, що дуже ускладнює завдання прогнозування та тем більше нормування експлуатаційних витрат палива ґрунтуючись лише на вельми обмежених вихідних даних, що зазвичай використовують при обліку нормоутворюючих чинників та розрахунках нормативних витрат палива на підприємствах.

Отже, доведено, що експлуатаційна витрата палива може змінюватися у місті залежно від умов руху майже у три рази на конкретних маршрутах, що дуже ускладнює завдання прогнозування та тим більше нормування

експлуатаційних витрат палива ґрунтуючись лише на вельми обмежених вихідних даних, що зазвичай використовують при обліку нормо-утворюючих чинників та розрахунках нормативних витрат палива на підприємствах (рис. 11).

Параметри розподілу витрати палива в умовах сучасного міста

З метою вивчення характеристик розподілу витрати палива залежно від умов руху та випадкових факторів було проведено дослідження автомобіля Mazda 6 2.0 5AT при його русі у прямому та зворотному напрямках на одному і тому ж маршруті (див. рис. 6.12) протягом декілька днів у різні місяці кінця 2008 та початку 2009 року (всього 59 поїздок).

На автомобіль Mazda 6 2.0 5AT було встановлено вимірювальне обладнання включаючи витратомір палива Ono-Sokki, безконтактний датчик швидкості Radarex, мобільну систему збору даних вимірювань та комп’ютер для поточного запису даних.

Всього для аналізу було відібрано 59 поїздок. За кожною поїздкою було здійснено запис годинної витрати палива, швидкості та часу з інтервалом близько 57 мс.

Приклад (фрагмент) запису даних швидкості та годинної витрати палива наведено на рис. 6.13.

На рис. 6.14 та 6.15 наведено приклад порівняння записів даних, отриманих за двома ранковими поїздками у різні дні (07.02.2009 та 18.11.2008). Дані на рис. 6.14 представлено в координатах від часу та для рис. 15 – в координатах від пройденого шляху. Обидва варіанти наведено для можливості порівняння поїздок.

На рис. 6.14 чорним кольором наведено графік швидкості та червоним графік годинної витрати палива від 07.02.2009. Синім кольором наведено графік швидкості та зеленим графік годинної витрати палива від 18.11.2008.

Для поїздки від 07.02.2009 отримано середню швидкість 48,41 км/год та витрату палива 10,11 л/100км. Для поїздки від 18.11.2008 отримано середню швидкість 24,88 км/год та витрату палива 11.47 л/100км.

Рисунок 6.12 – Фрагмент маршруту руху автомобіля Mazda 6 2.0 5AT, що був обраний для вивчення характеристик розподілу витрати палива [441, 442]

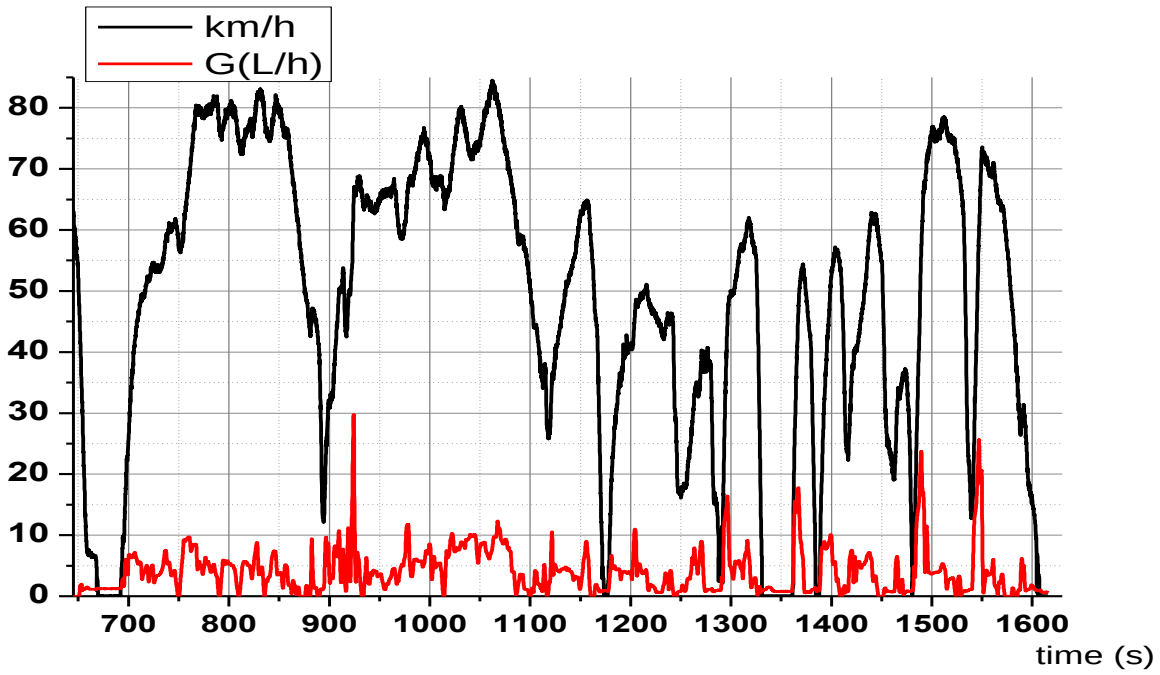


Рисунок 6.13 – Приклад (фрагмент) запису даних швидкості (км/год) та годинної витрати палива (л/год) автомобіля Mazda 6 2.0 5AT в координатах від часу (сек) [441, 442]

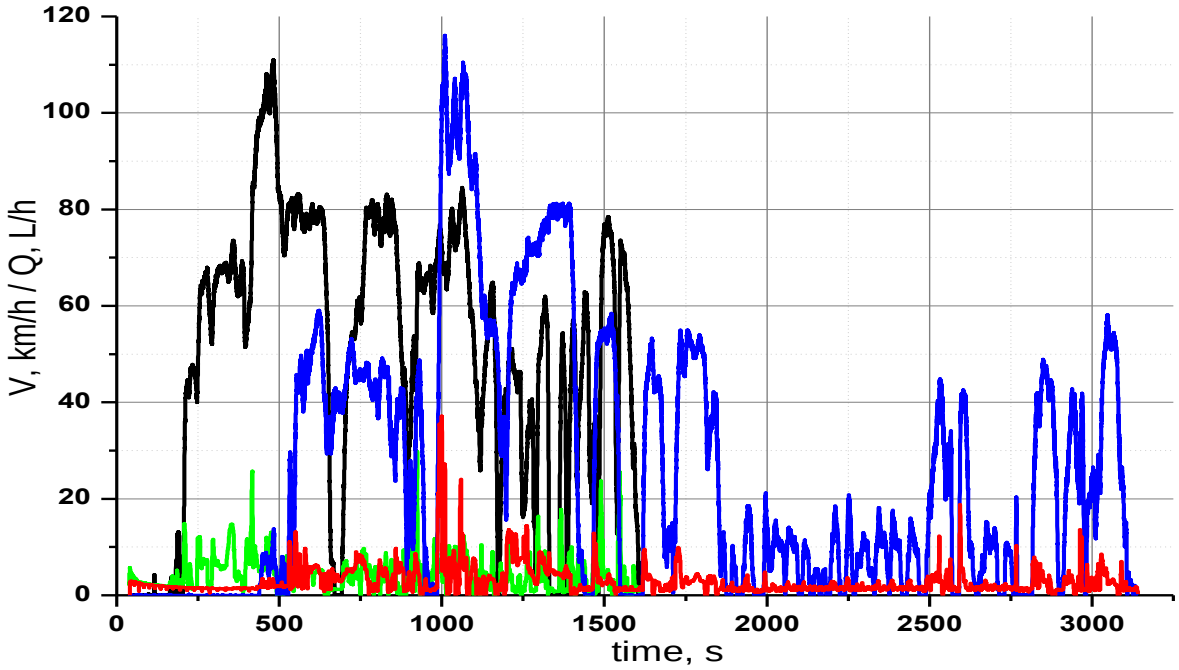


Рисунок 6.14 – Приклад (фрагмент) запису даних швидкості (км/год) та годинної витрати палива (л/год) автомобіля Mazda 6 2.0 5AT в координатах від часу (сек) для двох поїздок [441, 442]

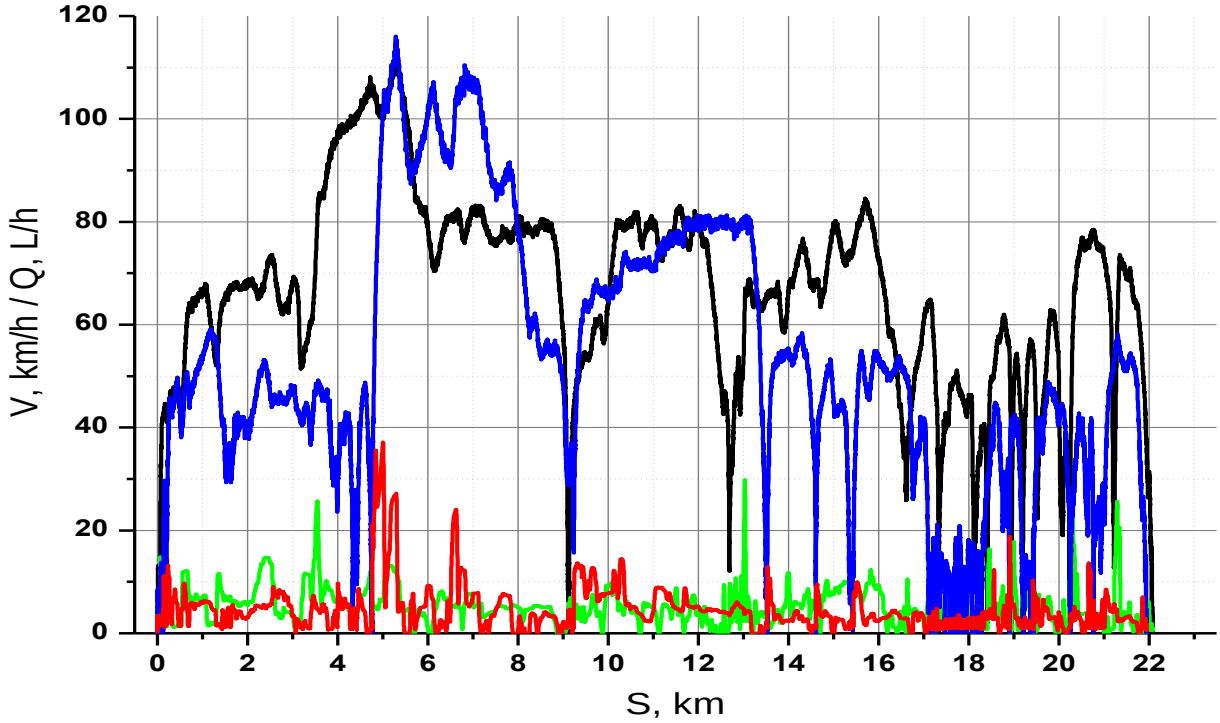


Рисунок 6.15 – Приклад (фрагмент) запису даних швидкості (км/год) та годинної витрати палива (л/год) автомобіля Mazda 6 2.0 5AT в координатах від часу (сек) для двох поїздок [441, 442]

Результати даного дослідження в цілому підтверджують усталену думку щодо взаємозв'язку середньої швидкості та питомої витрати палива на одиницю шляху в обмежених умовах руху. Але, як буде показано нижче, середня швидкість руху сама по собі не може бути достатньо надійним вихідним показником для прогнозування експлуатаційної витрати палива у містах.

Параметри розподілу показників середньої швидкості руху та витрати палива на маршруті

Отримано параметри розподілу показників середньої швидкості руху та витрати палива на маршруті в цілому та на його найбільш характерних ділянках. Приклади наведено на рис. 6.16 – рис. 6.21. Наведено значення питомої витрати палива за одну їздку (на всьому маршруті або на його окремому фрагменті) у різні дні.

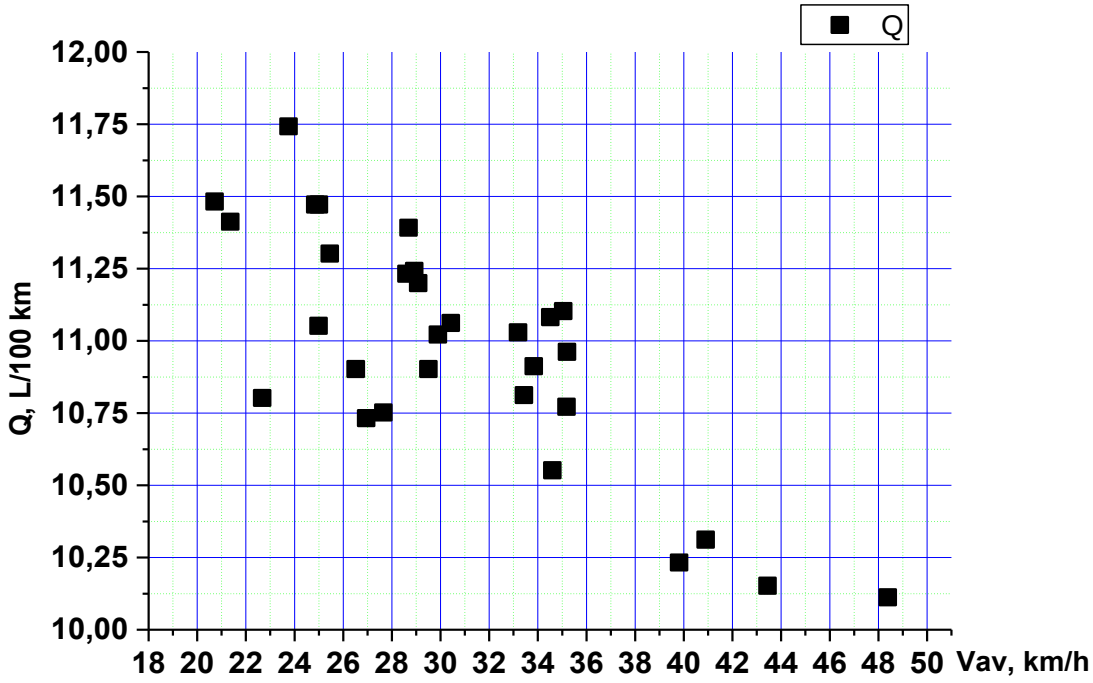


Рисунок 6.16 – Розподіл питомої витрати палива [Q, L/100km (л/100км)] залежно від середньої швидкості [Vav, km/h – (км/год)], ранок (за весь маршрут) [441, 442]

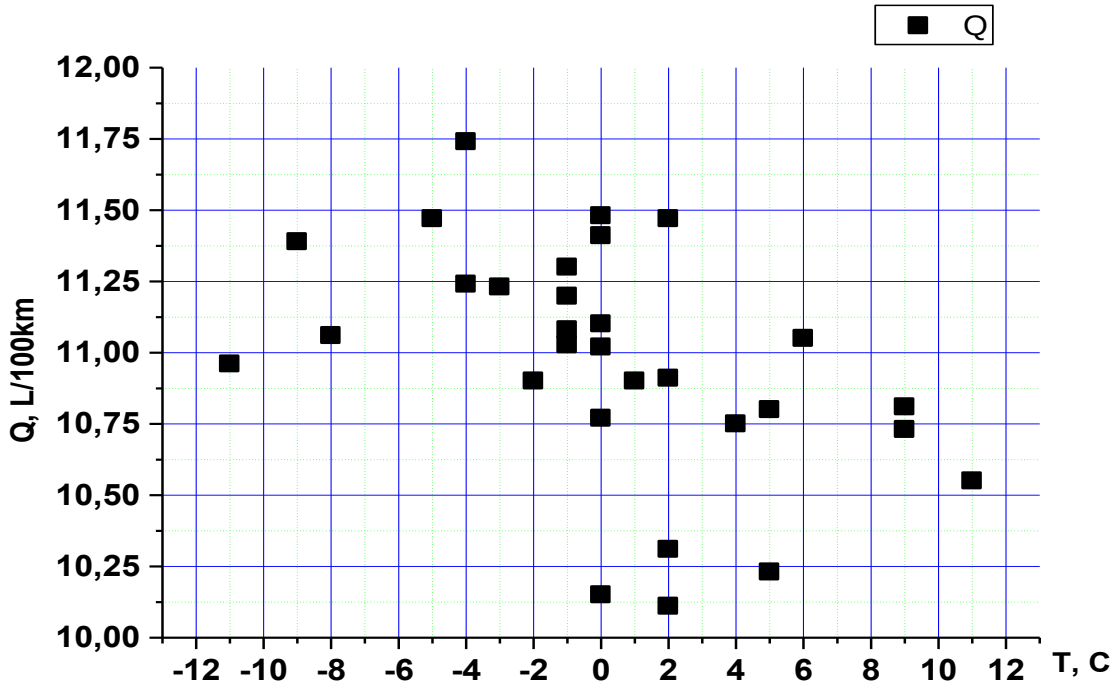


Рисунок 6.17 – Розподіл питомої витрати палива [Q, L/100km (л/100км)] залежно від температури навколишнього середовища [T, C – (°C)], ранок (за весь маршрут) [441, 442]

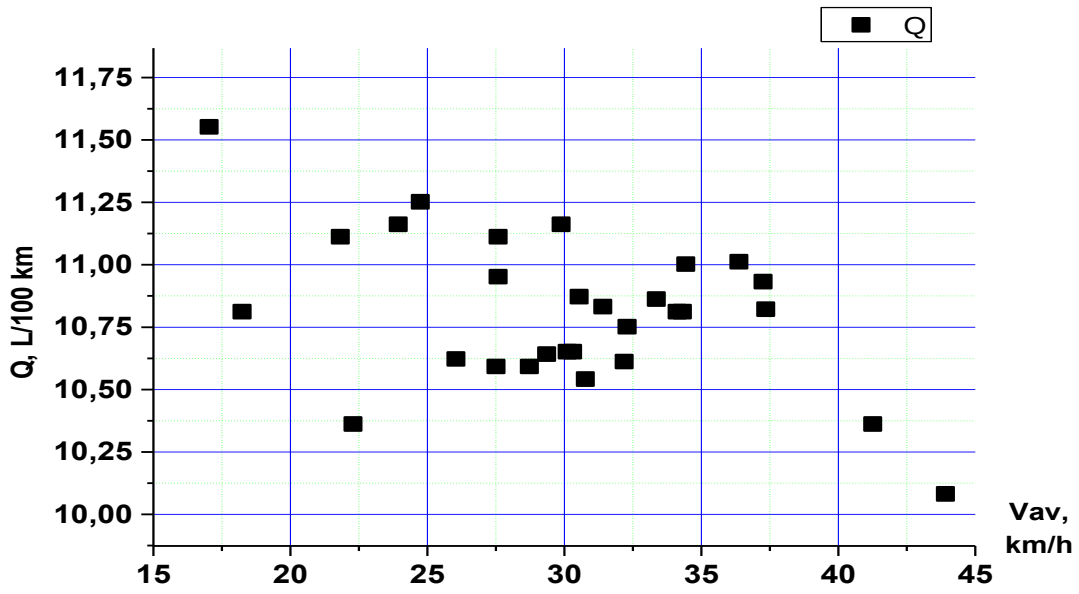


Рисунок 6.18 – Розподіл питомої витрати палива [Q, L/100km (л/100км)] залежно від середньої швидкості [Vav, km/h – (км/год)], вечір (за весь маршрут) [441, 442]

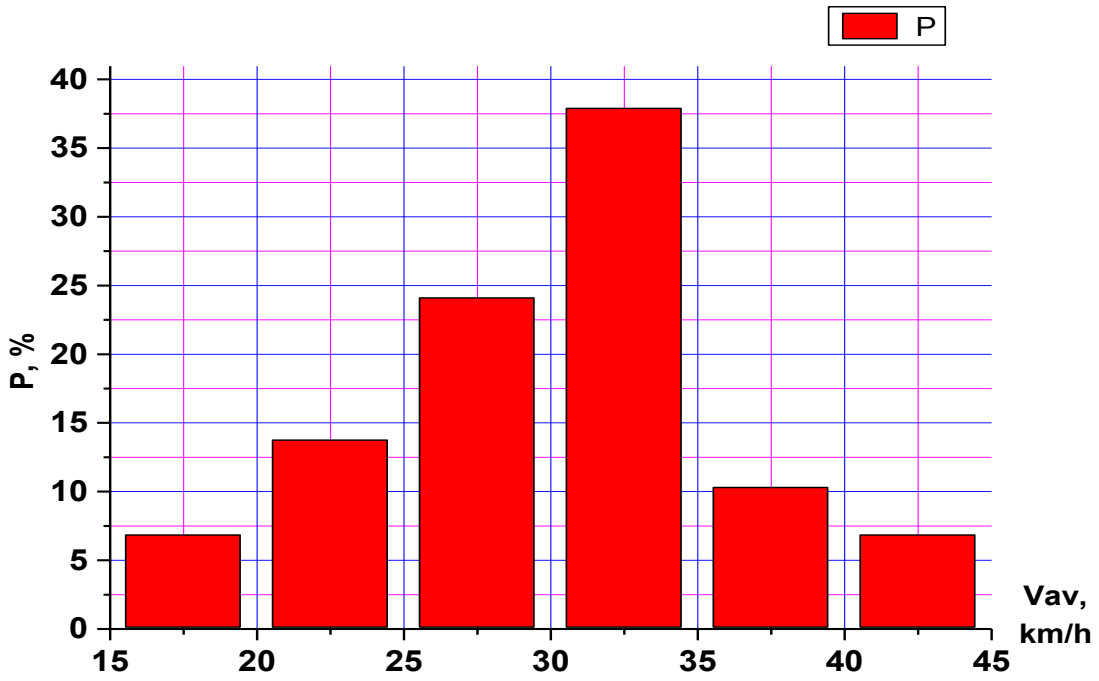


Рисунок 6.19 – Розподіл середньої швидкості [Vav, km/h – (км/год)] за весь маршрут, вечір [441, 442]

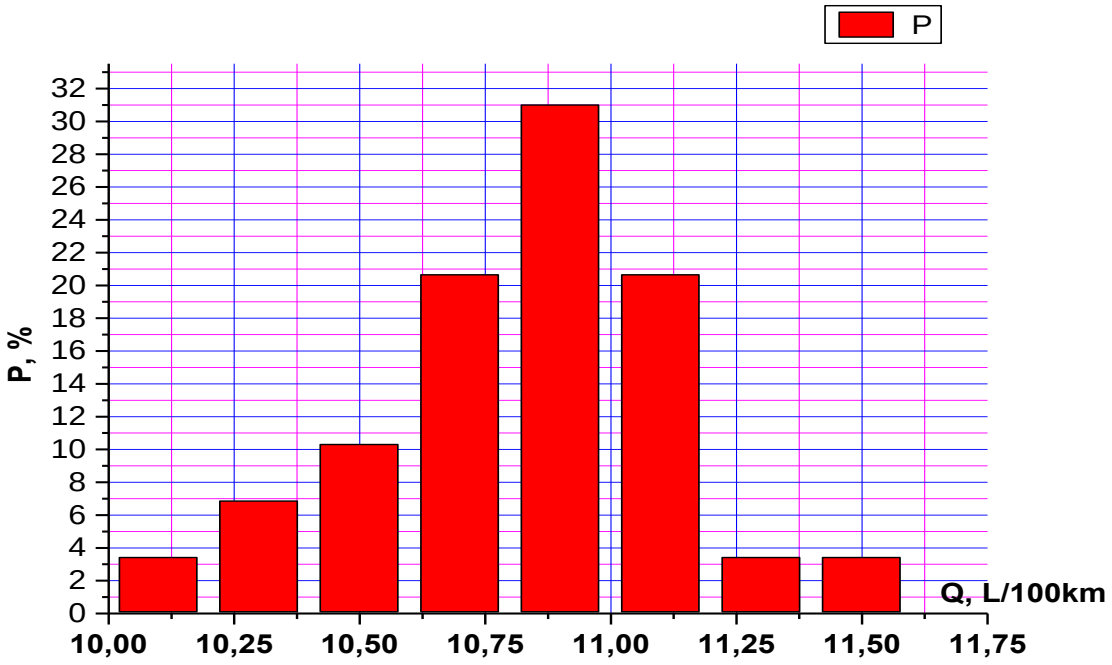


Рисунок 6.20 – Розподіл питомої витрати палива [Q, L/100km (л/100км)] за весь маршрут, вечір [441, 442]

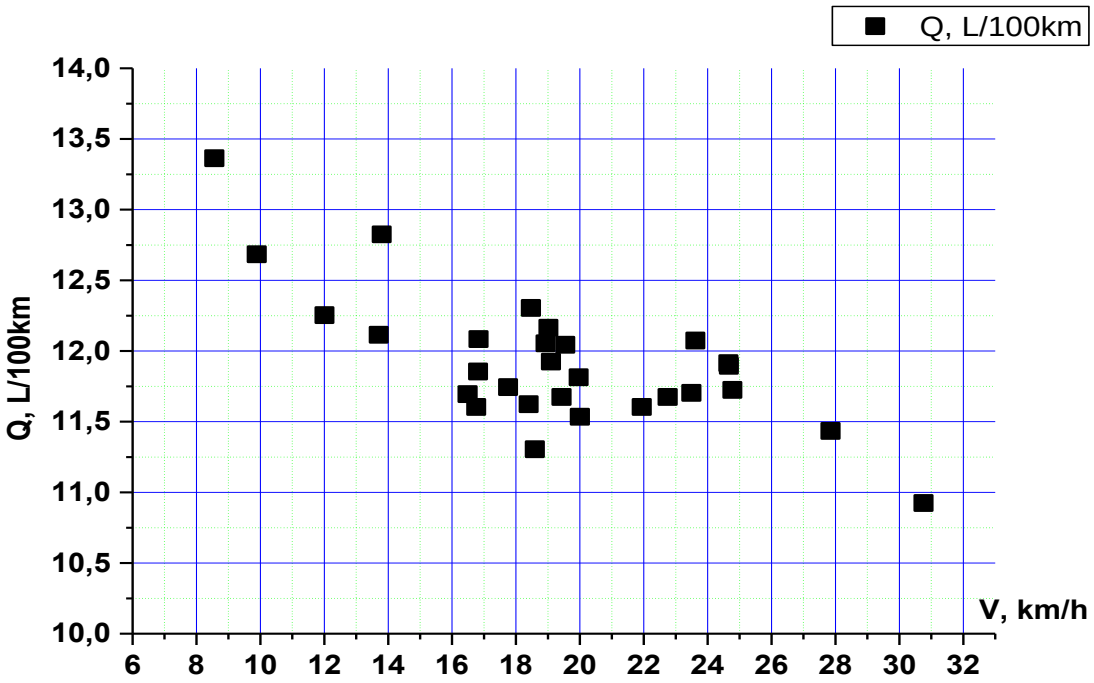


Рисунок 6.21 – Розподіл питомої витрати палива [Q, L/100km (л/100км)] залежно від середньої швидкості [Vav, km/h – (км/год)], вечір, фрагмент руху містом (пр. Перемоги, 57 - м. Петрівка) [441, 442]

Результати в цілому підтверджують усталену думку щодо взаємозв'язку середньої швидкості та питомої витрати палива на одиницю шляху в обмежених умовах руху, але визначено, що середня швидкість руху сама по собі не може бути достатньо надійним вихідним показником для прогнозування експлуатаційної витрати палива у містах.

Дуже великі резерви економії палива зосереджені в дотриманні економічної манери керування автомобілями. Наприклад, для автомобіля Mazda 6 2.0 5AT із базовою лінійною нормою 9,2 л/100км, середня витрата із використанням "звичайної" (типової) манери керування (що застосовують переважно водії службового транспорту) становила ≈ 10,9 л/100км в одному із напрямків маршруту, що досліджувався (змішані умови руху (≈ 60% місто + ≈ 40% приміська зона).

Вплив манери керування на витрату палива в умовах міста

Вплив манери керування на витрату палива в умовах міста наведено на прикладі повноприводного автомобіля JMC LandWind X6 SUV з двигуном моделі Mitsubishi 4G64, об'ємом 2400 куб. см, потужністю 118 кВт (бензин А-95), 5-ступінчатою механічною коробкою передач, спорядженою масою 1970 кг (базова лінійна норма витрати палива становить 10,8 л/100км).

Рух здійснювався з ввімкненою системою клімат-контролю в будні дні в часи «пік» без «пробок» зранку і в вечірній час в прилеглих до центру м. Києва районах. По маршруту руху розташовано 6 перехресть, 2 розв'язки, 17 світлофорів, 4 «зебри» (з загальної довжини маршруту 21,5 км: 1,5 км-рух по приватному сектору і прибудинковій території, 7 км - рух по проспектам з 3-ма і більше полосами, 13 км – 1-2-х полосний рух.

Навіть "помірно агресивна" манера керування цим автомобілем призвела до підвищення витрати до ≈ 12...14 л/100км (10...28% перевитрата). Дослідження впливу манери керування на витрату палива в сучасних умовах міста Києва різними автомобілями показало, що агресивна манера керування може збільшити витрату палива технічно-справним автомобілем більше ніж

на 30% без отримання принципово суттєвих переваг у середній швидкості пересування.

Застосування техніки “Еко-драйву” на цьому ж маршруті в цей же період часу дозволило (за умови відсутності серйозних ускладнень руху та заторів) отримати витрату ≈ 8,5...9,0 л/100км (21...28% економія). Отримана експлуатаційна витрата, таким чином, навіть менша за базову лінійну норму, при тому, що маршрут руху близько на 60% проходив містом. Але періодичні ускладнення руху в містах не дозволяють користуватися перевагами техніки “Еко-драйву” на постійній основі. Використання техніки “Еко-драйву” також потребує руху в режимах, дещо відмінних від середньостатистичних режимів руху транспортного потоку в цілому, та вимагає зосередження особливої уваги на забезпеченні безпеки дорожнього руху.

Вивчення швидкісних умов руху у місті Києві

З метою вивчення швидкісних умов руху у місті Києві на службовий автомобіль Fiat Doblo було встановлено сучасну систему GPS навігації та GSM контролю транспорту.

На рис. 6.22 наведено фрагмент траєкторії руху автомобіля по м. Києву в період період з 23.11.2009 по 08.12.2009.

Дослідження завантаженості дорожньої мережі міста Києва

Дослідження руху транспортних засобів в умовах міста, та особливо в умовах заторів було проведено на основі міста Києва, як міста з найбільш вираженими заторами, які відбуваються кожний будній день. Дорожня інфраструктура Києва характерна розділенням на лівий та правий берег, що обумовлює основні проблемні місця заторів – мости через Дніпро. Переважна більшість мешканців лівого берега працює на правому березі, у зв'язку з чим затори на мостах виникають реверсивно ранком та ввечері.

Встановлено різноманітність режимів руху автомобіля. Визначено розподіл швидкостей автомобіля та середню кількість зупинок на певному пройденому шляху за певний астрономічний час. Середня швидкість

пересування службового легкового автомобіля у м. Києві становила близько 33 км/год.

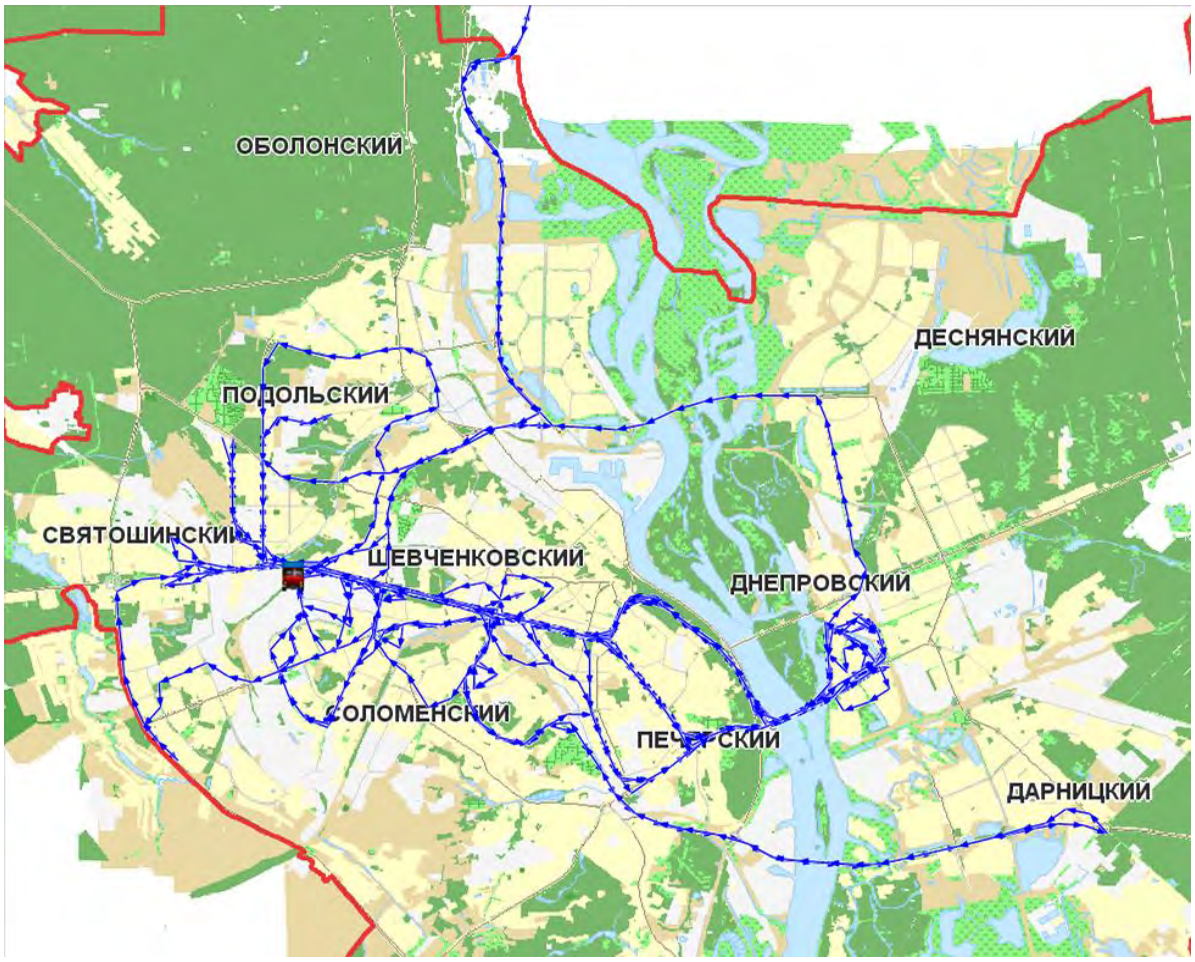


Рисунок 6.22 – Фрагмент траєкторії руху автомобіля Fiat Doblo за період з 23.11.2009 по 08.12.2009 по м. Києву, отриманий сучасними засобами супутникової навігації та контролю транспорту

Важливим чинником впливу на витрату палива транспортним засобом в умовах руху по місту є година доби. Так, на протязі робочого дня затори найбільш суттєві з 7 до 10 години вранці і ввечері з 16 до 19 години, і дещо менші затори в обідні години. Досліджено середню розрахункову швидкість руху в залежності від години доби. З отриманих даних виходить, що зміна розрахункової середньої швидкості по місту Києву змінюється протягом робочого дня не дуже значно, а вже о 21 годині, коли дороги міста майже

вільні відбувається підвищення розрахункової середньої швидкості руху більш ніж на 10 км/год у порівнянні з рухом о 8:30.

Отримані результати дозволяють визначити резерви та основні напрями удосконалення системи нормування витрат палива на автомобільному транспорті за рахунок більш адекватного врахування умов експлуатації, а також визначити пріоритетні напрямки подальших досліджень у цьому напрямку.

Наведені вище результати роботи було опубліковано автором у [441, 442] та покладено в основу принципово нової редакції галузевого нормативного документу [443].

6.2. Впроваджені пропозиції щодо вдосконалення системи нормування експлуатаційної витрати енергії автомобільним транспортом, що увійшли у третю редакцію «Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорту»

Опис пропозицій щодо вдосконалення системи нормування експлуатаційної витрати енергії автомобільним транспортом, що увійшли у третю редакцію «Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорту» надано у додатку 13, та увійшов в офіційне друковане видання галузевого нормативного документу [443].

6.3. Впроваджені пропозиції щодо системи нормування витрати енергії електромобілями в експлуатації

Опис впроваджених пропозиції щодо системи нормування витрати енергії електромобілями в експлуатації наведений у додатку 14.

Розроблена система нормування витрати електроенергії електромобілями та отримані залежності пробігу на одній зарядці в різних експлуатаційних умовах успішно пройшли апробацію на підприємствах.

6.4. Запровадження компаративної системи контролю питомого споживання енергії дорожніми транспортними засобами в експлуатації

Уявляється доцільним запровадити у перспективі нову, добровільну інформаційну систему регулювання витрат палива колісними транспортними засобами, що ґрунтується на технологіях оперативного надання власникам КТЗ розгорнутої інформації для прийняття рішень з врахуванням наявних резервів більш раціонального використання енергоносіїв в певних експлуатаційних умовах, та діятиме поряд із системою прямого нормування витрат моторних палив суб‘єктами господарювання. Окремі елементи існуючої системи прямого нормування витрат моторних палив суб’єктами господарювання відіграватимуть важливу роль у ефективному функціонуванні добровільної інформаційної системи, що охоплюватиме всіх учасників транспортного процесу. Таким чином, на абсолютно нових принципах, може бути запроваджено по справжньому ефективний механізм реалізації зосереджених у сфері експлуатації резервів зменшення навантаження АТК на оточуюче середовище і економії моторних палив.

Принципово нові можливості тут слід чекати як похідну від „інформаційної революції” останніх років завдяки якій вже у найближчій перспективі з'являється можливість постійного збору, узагальнення та аналізу інформації про моторні палива, що відпускаються в цілому по країні, по кожній моделі автомобіля. Під час заправки власник КТЗ вводить в термінал поточне значення лічильника пройденого автомобілем шляху і одержує, крім палива, інформацію про статистичний розподіл витрат палива для автомобілів даної моделі в цілому по країні, в даному регіоні і порі року, інформацію щодо

впливу різних експлуатаційних чинників на паливну економічність, необхідну для аналізу фактичних витрат, інформацію про поточну витрату палива свого автомобіля, динаміку зміни паливної економічності в часі, рекомендації щодо економії палива тощо. Таким чином, власник КТЗ одержує систему орієнтирів, що дозволяє легко і оперативно виявити перевитрату палива, оцінити можливі резерви його економії і розрахувати очікувану економічну ефективність заходів щодо підтримки автомобіля в справному стані, використовуванні економічних методів управління автомобілем або оптимізації транспортного процесу, вибору часу або маршруту пересування тощо. Суб‘єкти господарювання, таким чином, дістають можливості об’єктивного контролю. Власники АЗС розширюють перелік сервісних послуг, що надаються, і одержують максимум вигоди при мінімумі витрат. Споживачі одержують об'єктивну інформацію щодо реальної паливної економічності різних автомобілів, а виробники КТЗ – стимул або систему орієнтирів в боротьбі за споживача. Таким чином, основою нового механізму управління споживанням палива автомобільним транспортом повинна стати загальнодоступна і об'єктивна інформація щодо реальної паливної економічності КТЗ, що експлуатуються в країні, та у взаємозв’язку із чинниками, що її визначають. На рисунку 1 показана дуже спрощена функціональна схема такого механізму.

Темпи розвитку інформаційних технологій дозволяють з оптимізмом розглядати перспективи створення інформаційного механізму управління споживанням палива КТЗ в експлуатації – як однієї з найефективніших складових комплексу заходів щодо зменшення навантаження АТК на оточуюче середовище і економії моторних палив.

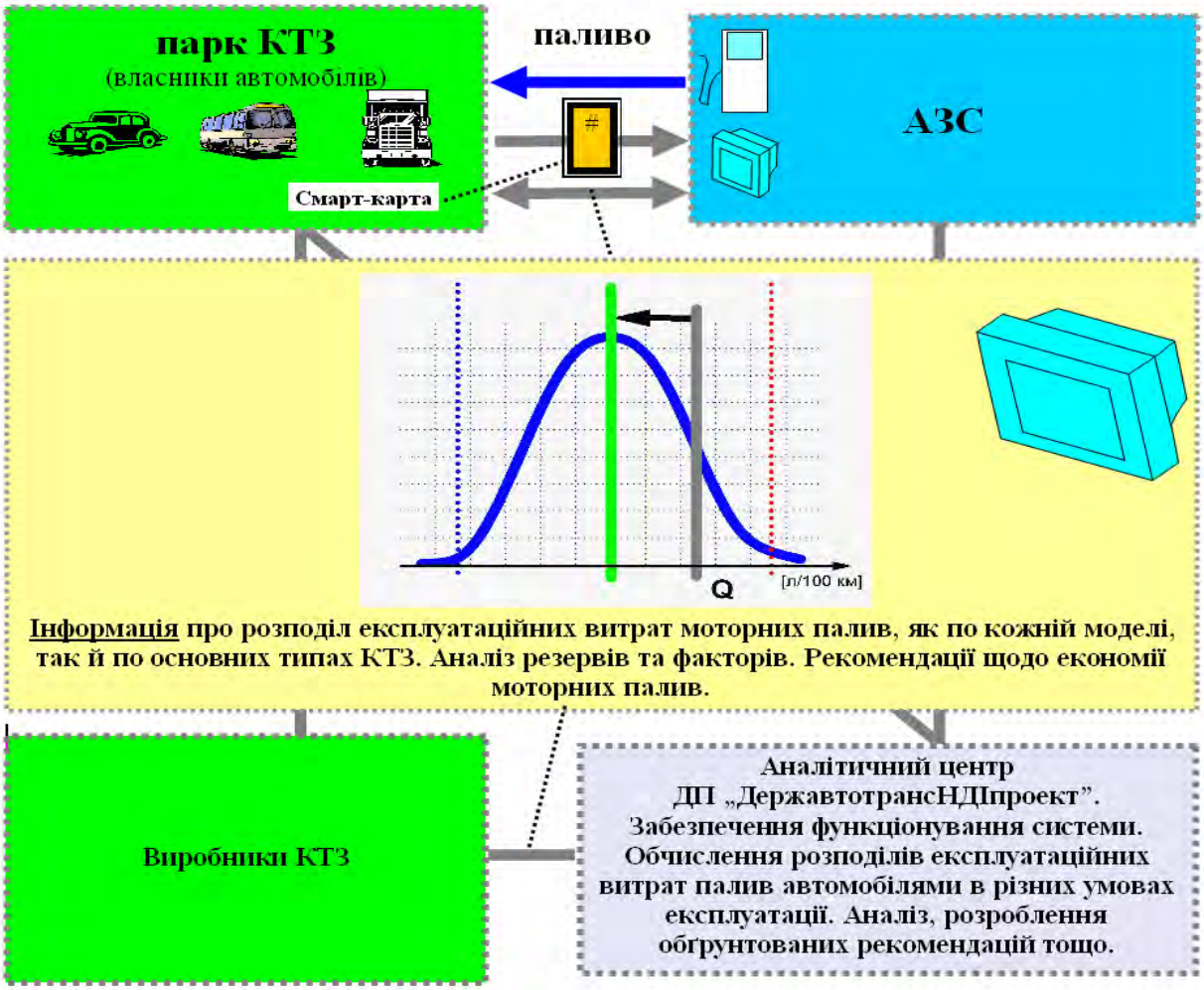


Рисунок 6.23 – Інформаційний механізм управління споживанням палива КТЗ в експлуатації [444]

Наведені в цьому розділі результати опубліковано автором у [441, 442, 444 – 448], та впроваджено у галузевому нормативному документі [443].

6.5. Висновки до розділу 6

1. Істотно вдосконалено систему нормування та управління витратами енергії автомобілями в експлуатації, що успішно впроваджено у третій, принципово новій редакції нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» (розділ 6).

2. Розроблена нова редакція нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» набула широкого використання в Україні суб’єктами господарювання та контролюючими органами.

3. Широкомасштабне застосування цього нормативного документу підприємствами в країні надало дійові інструменти для підвищення ефективності використання енергії та, опосередковано, зменшення забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами.

4. В доповнення до вдосконалення системи нормування витрат палива «традиційними» дорожніми транспортними засобами (у тому числі – гібридами), було вперше розроблено та успішно впроваджено (як пілотний проєкт для окремих суб’єктів господарювання) систему нормування витрати електроенергії для електромобілів в різних дорожніх та природньо-кліматичних умовах.

5. Отримано результати комплексного дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації на споживання палива автомобілями (значну частину результатів, зокрема, виявлених залежностей, було отримано вперше). На основі цих результатів і було розроблено нову редакцію нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті».

6. Також отримані результати дозволили сформулювати нові рекомендації щодо заходів з економії моторних палив транспортними засобами в різних умовах експлуатації.

Розділ 7. Інвентаризація споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднюючих речовин та моніторинг стану забруднення атмосферного повітря

7.1. Відтворення вихідних даних щодо структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, необхідних для розрахунку споживання енергії та викидів забруднювальних речовин автомобільним транспортом

Реконструкція (відтворення) відсутніх статистичних даних щодо кількості ДТЗ, що перебувають в активній експлуатації, детальної структури парку ДТЗ в Україні відповідно до вимог ЕЕА, та розрахунки викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин (більше 100 видів) з використанням програмного продукту COPERT вперше було здійснено в Україні автором у 2011 р. на виконання завдання відновлення участі країни в механізмах Кіотського протоколу, у 2012 р. під науковим керівництвом автора було виконано НДР «Розроблення методики розрахунку та визначення обсягів викидів парникових газів від пересувних джерел» [449], що також здійснювалася на замовлення Мінприроди для приведення національної інвентаризації викидів парникових газів дорожнім транспортом у відповідність з міжнародними вимогами.

Мета роботи полягала у науковому та методологічному забезпеченні запровадження в Україні проведення інвентаризації викидів парникових газів від дорожнього транспорту як основного емітента парникових газів від пересувних джерел відповідно до методів вищого рівня з урахуванням національних умов та зауважень і рекомендацій міжнародних експертів за результатами аналізування щорічних звітів України, які були подані протягом 2005 – 2011 років.

У звіті наведені такі основні результати, що складають наукову новизну, як методика розрахунку обсягів викидів парникових газів від дорожнього транспорту (основного емітента парникових газів від пересувних джерел) та її практична реалізація з врахуванням національних умов, оцінки деталізованої структури відповідно до класифікації EMEP/EEA і активності парка дорожніх транспортних засобів та викидів парникових газів від дорожнього транспорту в Україні у 1990 – 2010 рр. методами вищого рівня з врахуванням даних, отримання яких забезпечується у національній системі статистичної звітності та з врахуванням інших доступних на момент підготовки звіту вихідних даних.

Основні результати роботи було призначено для використання в Національному кадастрі викидів парникових газів 2012 року подання (за період 1990-2010 роки). Опис цієї роботи (звіт [449] за якою було викладено на 2461 сторінці) далеко виходить за встановлені межі щодо обсягу дисертаційного дослідження.

Розрахунки викидів парникових газів від дорожнього транспорту у 1990 –2010 рр. було виконано методами вищого рівня відповідно до EMEP/EEA.

Детальний опис розробленої під час виконання НДР методики розрахунків викладено в окремому документі «Методика розрахунку та визначення обсягів викидів парникових газів від пересувних джерел», що подається разом із даним звітом.

Методика забезпечує, з врахуванням наведених вище умов, усунення наданих міжнародною групою експертів зауважень відносно попередніх щорічних звітів України відповідно до Кіотського протоколу, а саме – методологічно забезпечує проведення розрахунків викидів парникових газів від дорожнього транспорту у повній відповідності з вимогами МГЕЗК з врахуванням визначених напрямів подальшого вдосконалення національної системи інвентаризації в частині дорожнього транспорту.

У частині викидів CO2 дорожнім транспортом розрахунки за рівнем 2 в рамках низхідного підходу передбачають, зокрема, отримання не тільки

інформації щодо обсягів споживання моторних палив (офіційна статистична інформація в Україні щодо цього на сьогодні є недостатньо повною), але і конкретних національних даних щодо вмісту вуглецю в моторних паливах тощо, розподілу споживання палив за вмістом вуглецю та використання національних коефіцієнтів розрахунку викидів замість коефіцієнтів за умовчанням (це завдання було вирішено пізніше у 2017 р., на окремі результати наведено у підрозділі 7.4 дисертаційної роботи).

У частині викидів N2O і CH4 дорожнім транспортом розрахунки за рівнем 2 і рівнем 3 в рамках висхідного підходу передбачають також отримання даних щодо розподілу споживання окремих видів палив відповідної якості транспортними засобами з урахуванням наявних систем і технологій зниження викидів забруднюючих речовин. Викиди N2O і CH4 значною мірою залежать від технологічного рівня конструкції транспортних засобів та їх експлуатаційних характеристик, режимів роботи двигунів у відповідних умовах експлуатації, якості палив (зокрема, вмісту в них сірки), пробігу та технічного стану транспортних засобів тощо.

Методика передбачає декілька рівнів деталізації оцінок в частині розгорнутої структури парку дорожніх транспортних засобів та його активності, що впроваджуватимуться по мірі подальшого вдосконалення системи.

Розрахунки викидів парникових газів здійснювалися на основі технічного керівництва EMEP/EEA та з використанням програмного забезпечення COPERT IV, що є усталеною практикою в багатьох країнах ЄС для дорожнього транспорту, забезпечуючи підвищення об’єктивності вихідних даних та відповідність опису джерел, методів отримання і оброблення інформації та застосованих припущень вимогам і рекомендаціям МГЕЗК.

7.2. Інвентаризація споживання енергетичних ресурсів автомобільним транспортом, викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин

Завдання інвентаризації споживання енергетичних ресурсів автомобільним транспортом, викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин вирішувались автором у роботах [450 – 452] з використанням методологічного підходу, описаного у розділі 2.

У додатку А.15 наведено опис роботи з верифікації обсягів споживання моторних палив транспортним сектором в контексті щорічної підготовки Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, результати якої доводить адекватність підходів і математичних моделей, описаних у розділі 2, в ретроспективному аналізі та при вирішення завдань прогнозування.

7.3. Відтворення даних щодо структури та середніх національних значень вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку України в період 1990-2014 рр.

Визначення Україною національних значень середнього на ринку вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив було однією з ключових умов МГЕЗК щодо приведення щорічного Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні відповідно до міжнародних вимог. Зазначені та інші фізико-хімічні властивості моторних палив варіюють в різних регіонах світу та в окремо взятих країнах. Тому, на підставі цих суто національних даних країни світу мають розраховувати саме національні коефіцієнти викидів діоксиду вуглецю при спалюванні, зокрема, моторних палив, що використовує дорожній транспорт.

Поки не буде реалізовано загальнонаціональну програму відбору проб та хімічного композиційного аналізу наявних на ринку України моторних палив, коефіцієнти викидів вуглецю мають бути оцінено на основі наявної інформації із створенням відповідної методології.

Тому, на замовлення Мінприроди, автором, із залученням ТОВ «Масма» та компанії «Ricardo Energy & Environment», було виконано таку роботу, за якою було опубліковано спільний звіт [453].

Слід особливо підкреслити, що як раніше, так і в даний час не зберігаються репрезентативні зразки моторних палив з попередніх історичних періодів, принаймні які не б зазнали істотних фізико-хімічних змін протягом тривалого періоду зберігання.

Отже, у будь якому випадку, потрібен метод для оцінки вмісту вуглецю у паливах та їх нижчої теплоти згоряння, характерних для ринку країни в цілому, за минулі роки (індивідуальні значення за кожен рік, з врахуванням постійних змін на ринку), щоб скласти кадастр парникових газів починаючі з 1990 р.

Завдання було вирішено з використанням теоретичного підходу, який розглядає основні компоненти моторних палив в даний час і в минулому, на основі даних щодо походження сировини і технологій виробництва на нафтопереробних заводів, з яких моторні палива постачають в Україну.

Експертне судження було використано для того, щоб визначити, як змінювалися ринкові рецептури різних, представлених на ринку України моторних палив протягом багатьох років, із врахуванням змін до специфікацій палива, визначених стандартами, що діяли в різні часі.

Теоретичний підхід базується на оцінці хімічної структури кожного компонента палива, а саме суміші різних вуглеводнів та їх властивостей, а також пропорцій кожного компоненту в кінцевій рецептурі палива. Метод враховує вміст вуглецю, водню, кисню та сірки в кожному окремому вуглеводні, його масову щільність та термодинамічні властивості, а саме

теплоту згоряння. Цей підхід дозволяє оцінити вміст вуглецю в сучасних рецептурах палива, і це можна порівняти зі значеннями, отриманими в майбутніх програмах відбору проб та аналізу, також рекомендованих автором у [453].

Перевага підходу полягає у можливості його застосуванні до бензину, дизельного палива, зрідженого нафтового газу та інших видів, зокрема, сумішевих моторних палив із вмістом біокомпонентів. Існують способи перехресної перевірки підходу, що включає оцінку нижчої теплоти згоряння (НТЗ) паливної суміші на основі її складових частин. Оцінка НТЗ представляє інтерес сама по собі, оскільки вона є широко використовуваним параметром для характеристики палива, і країна повідомляє про викиди вуглецю до МГЕЗК ООН для порівняння із даними за замовчуванням МГЕЗК, та даними, про які повідомляють інші країни. Більше того, якщо перехресні перевірки проходять успішно і дають сумісні значення НТЗ, це відкриває підхід, заснований на більш простих властивостях палива, які пов’язані з НТЗ і потенційно простіші для вимірювання, які можуть бути використані як маркер або проксі для оцінки майбутніх змін у вмісті вуглецю без необхідності проводити більш дорогі програми відбору проб та аналізу палива щороку.

Опис підходів до визначення в ретроспективі та прогнозування вмісту вуглецю і нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку країни та результати розрахунку зазначених та інших усереднених на ринку показників моторних палив в Україні в період 1990-2014 рр. (окремо за кожний рік) представлений у додатку А.16.

7.4. Прогнозування стану атмосферного повітря на основі моделювання з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля міста залежно від основних факторів впливу та здійснення оцінки екологічної ефективності заходів і проектів з покращення якості повітря

Завдання моделювання та прогнозування з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля міста залежно від основних факторів впливу та здійснення оцінки екологічної ефективності заходів і проектів з покращення якості повітря здійснювалося у НДР «Розроблення математичної моделі якості атмосферного повітря міста на базі європейської технології THOR-Air-PAS для оцінки ефективності розвитку дорожньої інфраструктури, організації дорожнього руху та проектів містобудування» (2015 р.) [454] під науковим керівництвом автора.

Мета роботи полягала в наданні інструментів для покращення екологічної ситуації в містах України шляхом впровадження європейських технологій управління якістю повітря – моделювання та прогнозування з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля залежно від основних факторів впливу та здійснення оцінки екологічної ефективності проектів розвитку дорожньої інфраструктури, управління транспортними потоками, введення обмежень на в‘їзд до центральних частин міста визначених категорій транспортних засобів, розвитку та оптимізації громадського транспорту, містобудування тощо.

У проміжному звіті з НДР [454] наведені такі основні результати, що складають наукову новизну:

1. Отриманий (відтворений) для міста Києва комплекс вихідних даних, які коректно відображатимуть основні джерела викидів за структурою, обсягом, динамікою, просторовим розташуванням, дані щодо забруднення, та просторових, метеорологічних та мікрокліматичних характеристик урбанізованої території у структурі системи THOR-AirPAS.

2. Математична модель стану атмосферного повітря міста Києва (як пілотного проекту на базі європейської технології THOR-Air-PAS) з описом впливу транспорту та інших джерел забруднення, кліматичних і метеорологічних умов та інших факторів на рівні районів та окремих вулиць

міста з врахуванням конфігурації його забудови та транспортної інфраструктури;

3. Результати розрахунку масових викидів забруднюючих речовин дорожнім транспортом у місті Києві відповідно до європейської методології EEA з врахуванням деталізованої структури транспорту у потоках та параметрів руху.

4. Покращена просторову роздільну здатність системи THOR Air PAS зі стандартних 1000x1000 метрів до 250×250 метрів та реалізована процедура адаптації наявної інформації щодо розподілу викидів забруднювальних речовин на території міста Києва від різних джерел викидів (стаціонарних, площадних, лінійних) до нового формату вихідних даних.

5. Приклади якісного (з високою роздільною здатністю) моделювання стану забруднення повітря міста Києва за фоновими концентраціями забруднюючих речовин та деталізованого моделювання стану забруднення на окремих вулицях міста Києва (застосування моделі OSPM).

5. Результати моделювання в системі THOR-Air-PAS забруднення атмосферного повітря міста Києва для різних сценаріїв розвитку транспорту та його інфраструктури. Наведено приклади моделювання стану забруднення повітря міста Києва за фоновими концентраціями забруднювальних речовин та приклади деталізованого моделювання стану забруднення на окремих вулицях міста Києва (застосування моделі OSPM) з прогнозуванням стану повітря міста внаслідок впровадження заходів технічного регулювання до дорожнього транспорту (впровадження на практиці європейських екологічних стандартів), прогнозування зміни забруднення внаслідок покращення транспортної інфраструктури (реалізація проекту будівництва автодорожнього тунелю через річку Дніпро від площі Перемоги до Броварського проспекту), прогнозування зміни забруднення внаслідок регулювання дорожнього руху (обмеження руху автотранспорту в центрі міста), попередні результати прогнозування стану повітря міста внаслідок

реалізації проекту будівництва навколо міста ВКАД (проведено моделювання за різними сценаріями розвитку автомобільного транспорту), оперативного прогнозування забруднення міста внаслідок виникнення масштабної надзвичайної ситуації техногенного характеру (сценарій пожежі в результаті аварії при транспортуванні легкозаймистих речовин та матеріалів в межах міста.

Опис технології THOR-AirPAS

Інтегрована система THOR-AirPAS [455] була розроблена кафедрою інжинірингу навколишнього середовища Орхуського університету (Данія) та передана в Україну в рамках міжнародного проєкту управління якістю атмосферного повітря міст, за наукове супроводження реалізації якого в Україні відповідав автор. До складу системи THOR-AirPAS входить декілька моделей (DEHM – модель регіонального фону та метеорології, SPREAD – модель викидів, UBM – модель міського фону, OSPM – модель вуличних каньйонів), які дозволяють проводити оцінки якості повітря та складати прогнози забруднення атмосфери на регіональному та місцевому рівнях залежно від багатьох факторів впливу. Моделі даної системи функціонально взаємопов’язані за ієрархічним принципом організації вхідних та вихідних даних. Зокрема, в моделі DEHM закладена регіональна статистика щодо метеорологічних умов та якості атмосферного повітря у вигляді часових рядів, які відображають повторюваність регіональних процесів за тривалий період часу. Такий набір даних дозволяє на виході моделі DEHM отримувати регіональні фонові концентрації, які надалі використовуються при розрахунках концентрацій забруднень атмосфери на місцевому рівні (модель UBM).

Модель UBM використовує дані щодо обсягів викидів на території для різних джерел (лінійних, площадних, точкових) з врахуванням географічних координат та отриманням просторового розподілу викидів з використанням моделі SPREAD. Функціональні можливості моделі UBM дозволяють здійснювати як вибіркові оцінки якості повітря (в будь-якій точці на карті), так

і відслідковувати динаміку розподілу забруднення над всією досліджуваною територією.

Змодельований екологічний стан може бути представлений у вигляді електронних карт, на яких, з використанням ГІС-технологій (ArcGIS, Quantum GIS тощо) нанесені інгредієнті поля забруднення атмосферного повітря території.

На рівні вулиць та доріг моделювання стану забруднення реалізується за допомогою моделі OSPM. Модель дозволяє розглядати вулиці та дороги довільної конфігурації, враховувати геометричні характеристики забудови та турбулентність потоків повітря тощо.

Таким чином, система THOR-AirPAS є універсальним засобом моніторингу, прогнозування та вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря.

У 2013-2014 рр. автор від ДП «ДержавтотрансНДІпроект» здійснював наукове та експертне забезпечення реалізації пілотного проекту Європейської Комісії «Управління якістю повітря в країнах ЄІСП (AIR-Q-GOV), в якому відпрацьовувалися методологічні питання впровадження цієї технології на прикладі міста Києва.

У НДР [454] застосування зазначеної технології в Україні отримало подальший розвиток в плані методологічних питань, повноти і якості вихідних даних для моделювання, та напрямів її використання.

У дещо спрощеному вигляді (див. рис. 7.2) модель враховує регіональні (Regional) фонові концентрації забруднюючих речовин, на які нашаровуються розраховані локальні фонові концентрації речовин, що утворюються на території міста (City increment) на певних площах, та на які потім вже нашаровуються концентрації, отримані шляхом дуже детального моделювання розсіювання забруднювачів в конкретних зонах, на конкретних вулицях, що враховує висотність й щільність забудови, структуру та параметри руху транспортних потоків тощо (Street increment) [454].

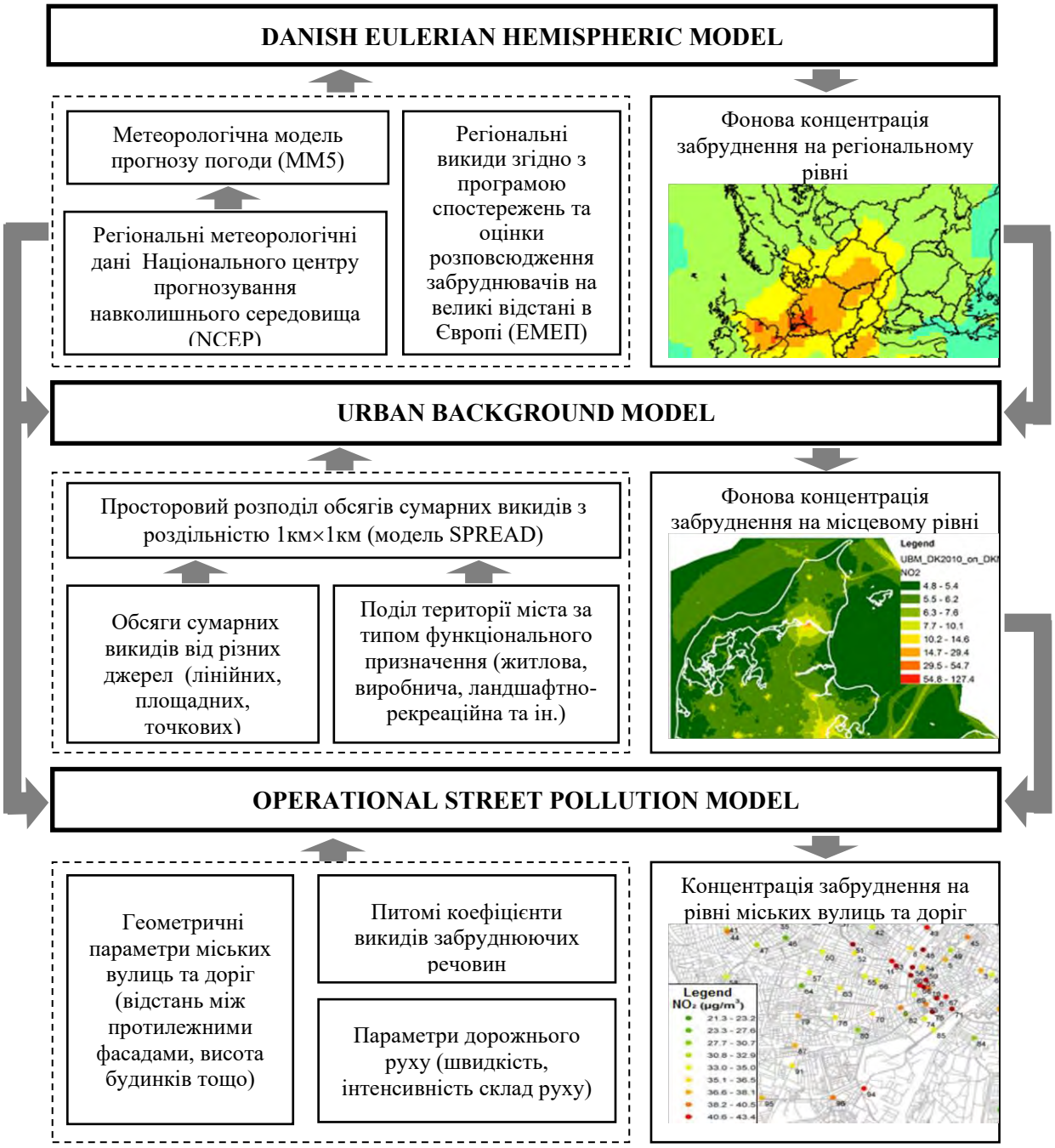


Рисунок 7.1 – Схема потоку вихідних даних між моделями системи THOR-AirPAS [455]

Таким чином, наведені нижче на рис. 7.3 – 7.10 умовні фонові концентрації речовин є лише складовою моделі, що умовно характеризують «базовий» стан забруднення на рівні дахів будинків, в той час як реальні концентрації забруднювачів, під дію яких підпадають мешканці міст, є більшими, та розраховуються окремо в кожній зоні з врахуванням наведених вище факторів, які, зокрема, враховують умови їх розсіювання.

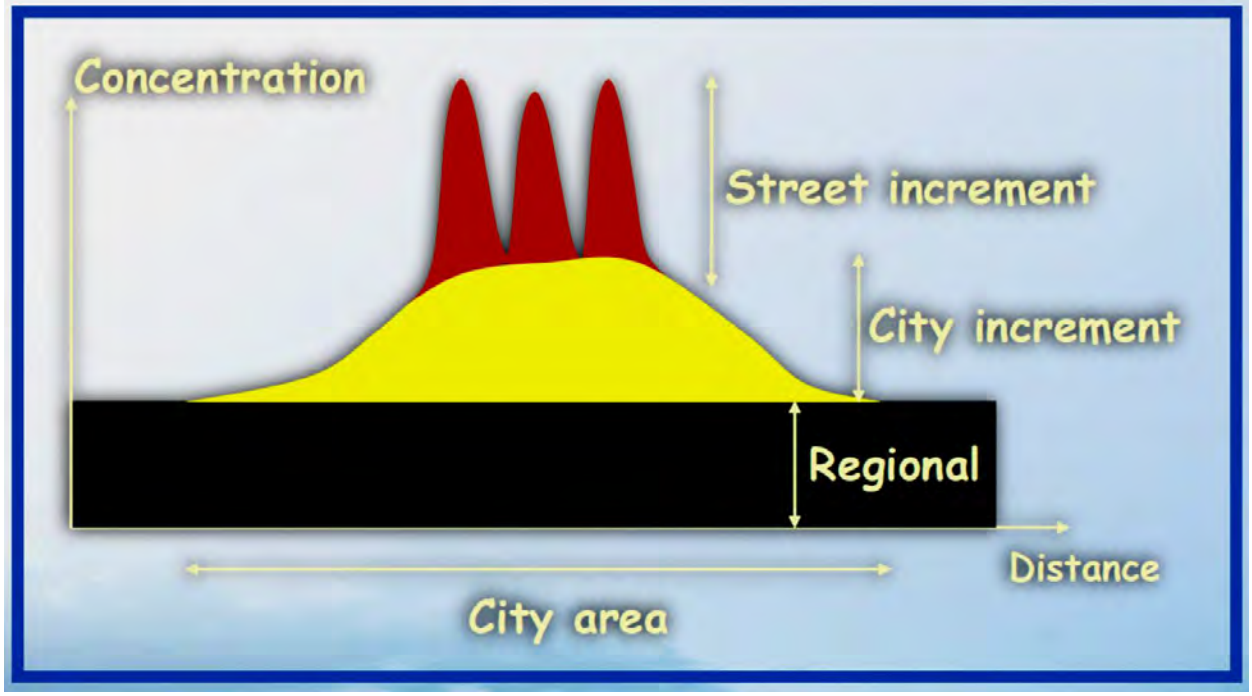


Рисунок 7.2 – Спрощене представлення шарів моделювання концентрацій забруднюючих речовин в системі THOR-AirPAS [455]

Дослідження внеску дорожнього транспорту у забруднення повітря на прикладі міста Києва (порівняння «базового» стану забруднення міста з сценарієм впровадження екологічно сприятливого транспорту та перспективних транспортних систем в цілому).

У «базовому», прийнятому у дослідженні, 2010 році, загальний внесок дорожнього транспорту в сумарні валові викиди від всіх джерел забруднення повітря міста Києва (включаючи стаціонарні точкові та розподілені (площадні) джерела викидів, дорожній транспорт, авіацію, залізницю та річковий транспорт) складав протягом одного обраного тижня (як приклад) [454, 461]:

- за NO_x – 71,6%;
- за SO_2 – 56,3%;
- за CO – 65,5%;
- за $PM_{2.5}$ – «лише» 12,3%.

В той же самий час усереднений «внесок» дорожнього транспорту у забруднення 9-ти обраних характерних зон міста Києва складав [454, 461]:

- за NO_x – 93,7%;
- за SO_2 – 92,1%;
- за CO – 86,4%;
- за $PM_{2.5}$ – 77,7%.

Викиди від дорожнього транспорту, на відміну від багатьох інших джерел забруднення повітря, здійснюються переважно в місцях масового скупчення людей (у безпосередній близькості до місць проживання та роботи населення). Цей фактор має принципове значення з точки оцінювання негативного впливу дорожнього транспорту на довкілля і людину. У наведеному вище прикладі дорожній транспорт є джерелом «лише» 12,3% сумарних викидів зважених частинок ($PM_{2.5}$) у місті Києві. Але в місцях масового скупчення людей у даному випадку дорожній транспорт «відповідає» вже за 77,7% наявних зважених частинок ($PM_{2.5}$) у повітрі, тобто перетворюється на домінуюче за негативним впливом джерело забруднення. Крім того, викиди $PM_{2.5}$ з відпрацьованими газами автомобільних двигунів є дуже специфічними у порівнянні з іншими джерелами викидів зважених частинок. Викиди $PM_{2.5}$, що формуються у камерах згоряння двигунів, містять відносно великі концентрації полі-циклічних ароматичних вуглеводів (ПАВ) та металів, тобто є особливо небезпечними канцерогенами [454, 461].

Приклад карти забруднення міста Києва оксидами азоту (NO_x) показано на рис. 7.3, 7.4. Приклад карти забруднення міста Києва зваженими частинками ($PM_{2.5}$) показано на рис. 7.5, 7.6. Приклад карти забруднення міста Києва оксидом вуглецю (CO) показано на рис. 7.7, 7.8. Приклад карти забруднення міста Києва діоксидом сірки (SO_2) показано на рис. 7.9, 7.10 [454, 461].

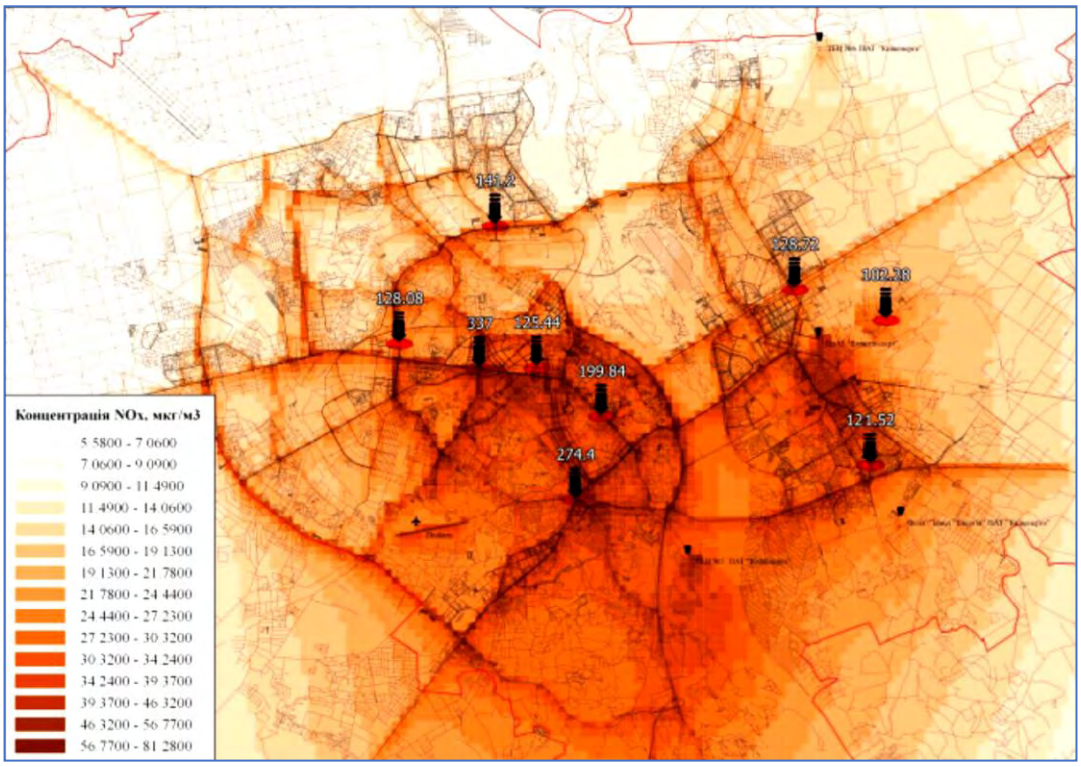


Рисунок 7.3 – Забруднення м. Києва оксидами азоту (NO_x)

(один тиждень 2010 р.) [454, 461]

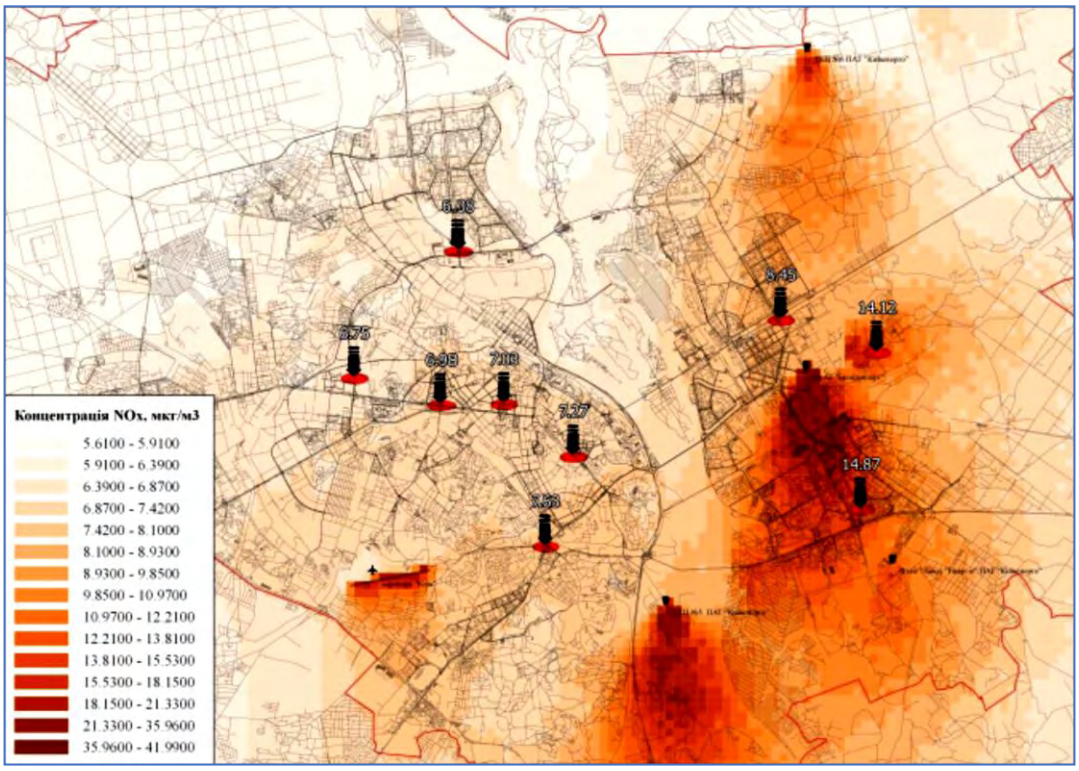


Рисунок 7.4 – Концентрації NOx

за сценарієм екологічно сприятливого транспорту [454, 461]

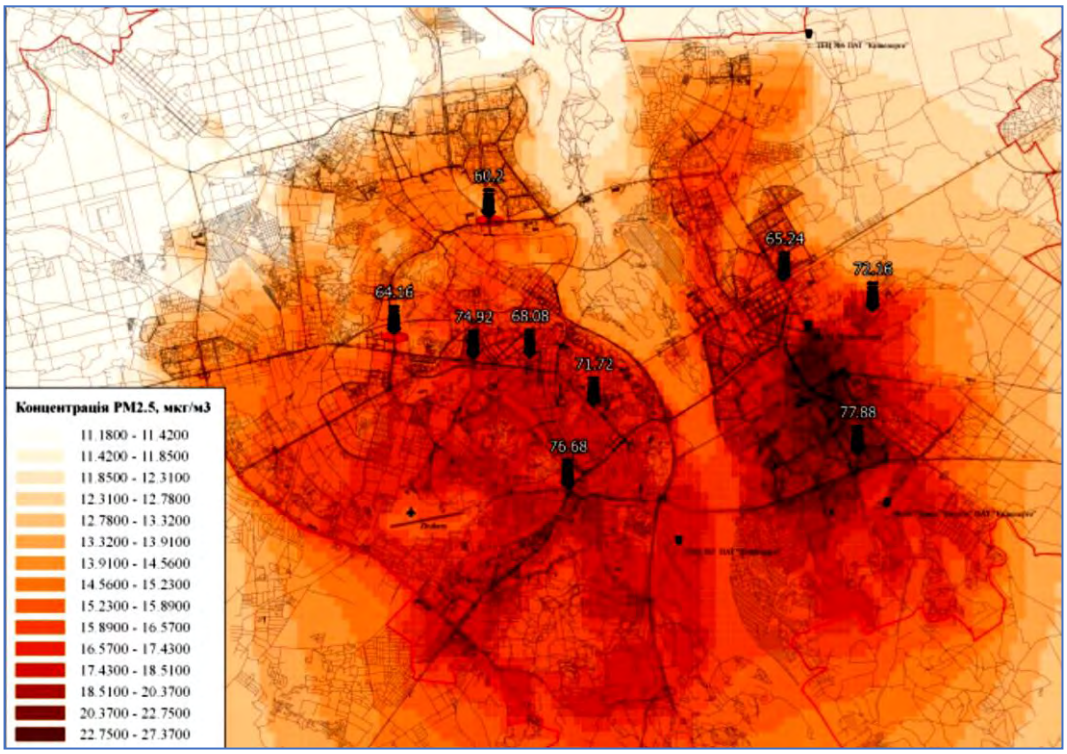


Рисунок 7.5 – Забруднення м. Києва зваженими частинками ($PM_{2.5}$) (один тиждень 2010 р.) [454, 461]

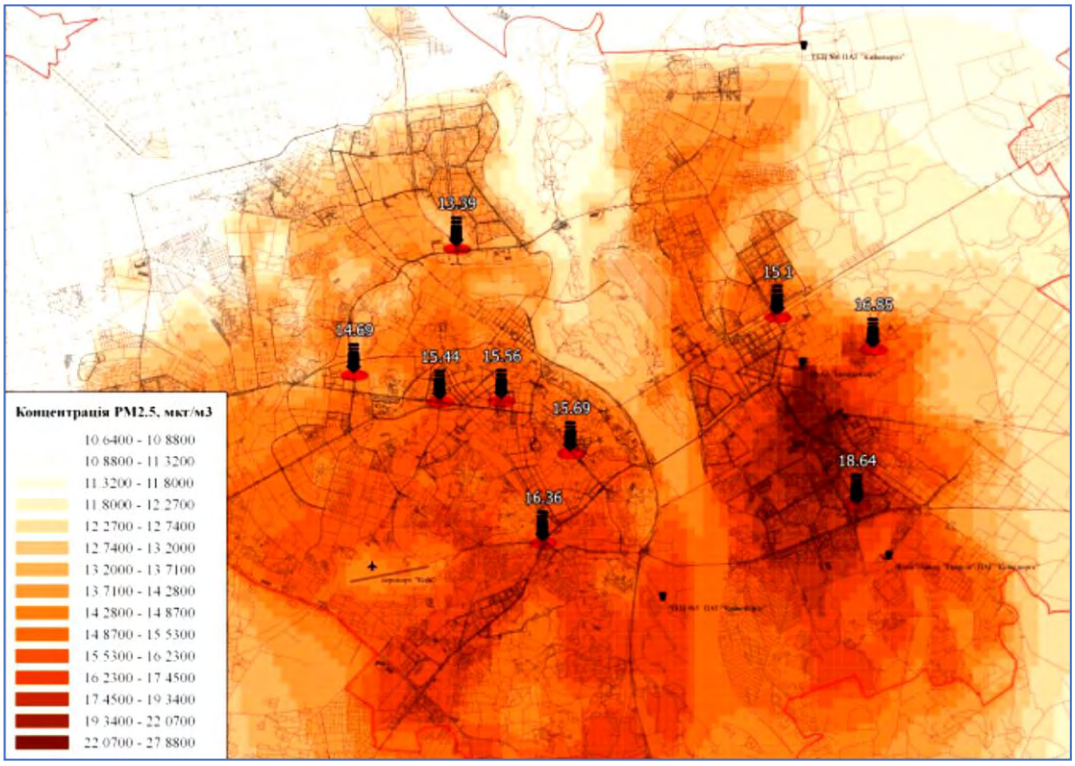


Рисунок 7.6 – Концентрації $PM_{2.5}$ за сценарієм екологічно сприятливого транспорту [454, 461]

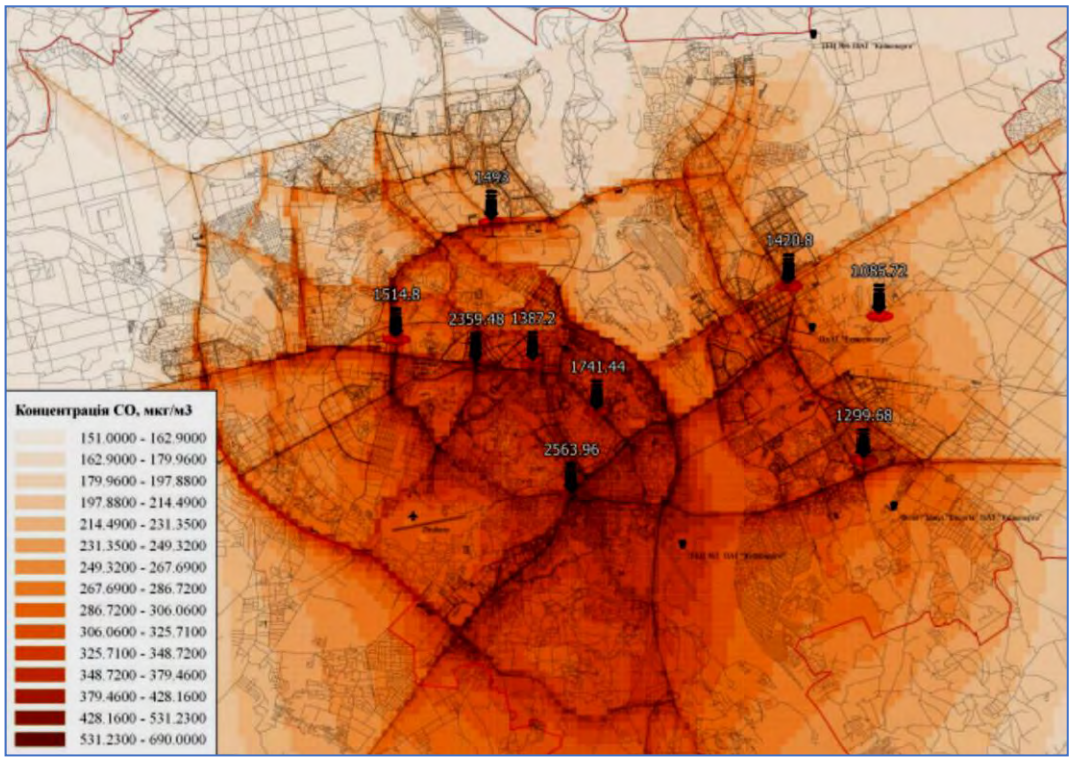


Рисунок 7.7 – Забруднення м. Києва оксидом вуглецю (CO)

(один тиждень 2010 р.) [454, 461]

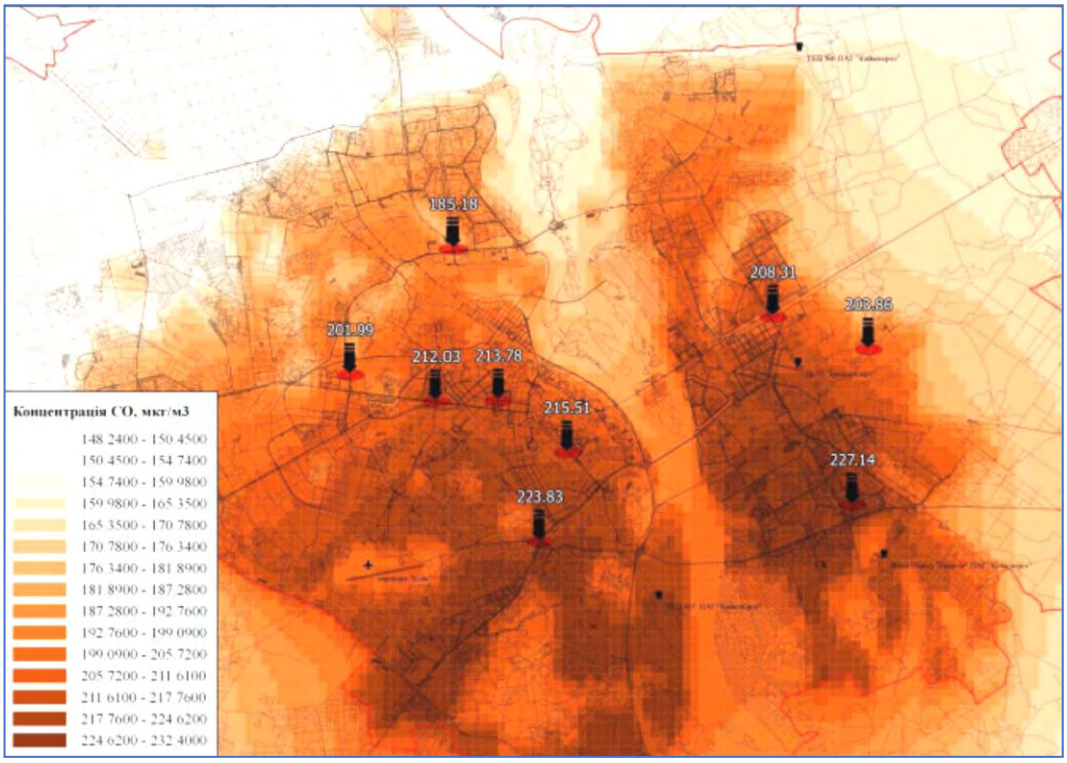


Рисунок 7.8 – Концентрації CO

за сценарієм екологічно сприятливого транспорту [454, 461]

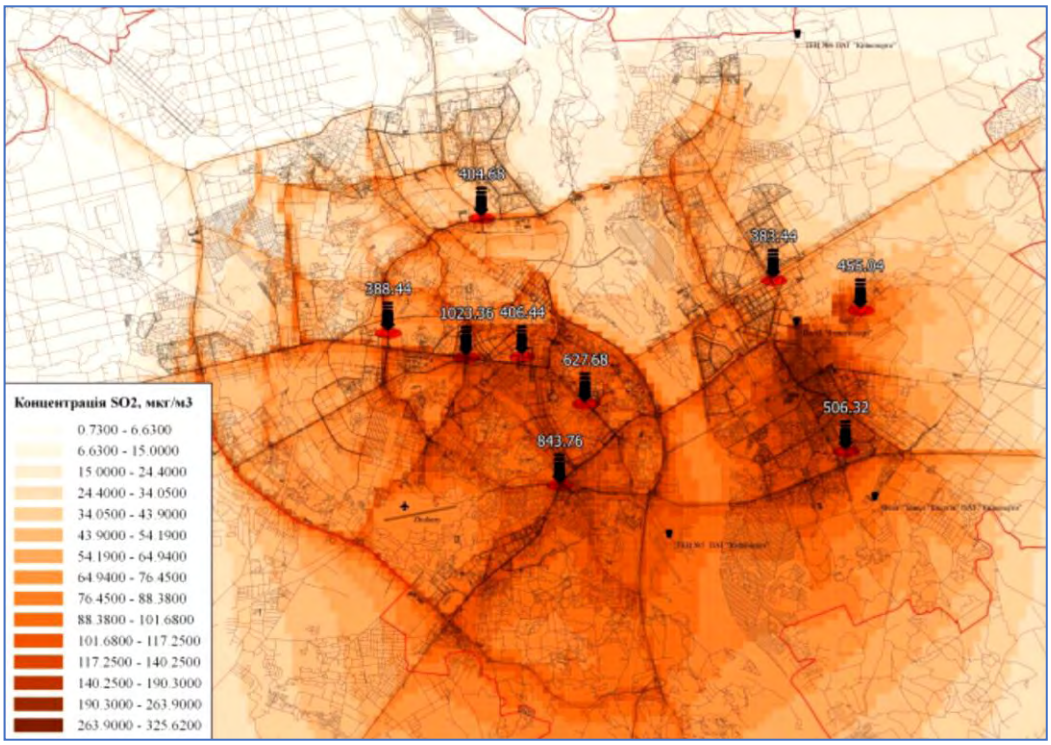


Рисунок 7.9 – Забруднення м. Києва діоксидом сірки (SO_2)

(один тиждень 2010 р.) [454, 461]

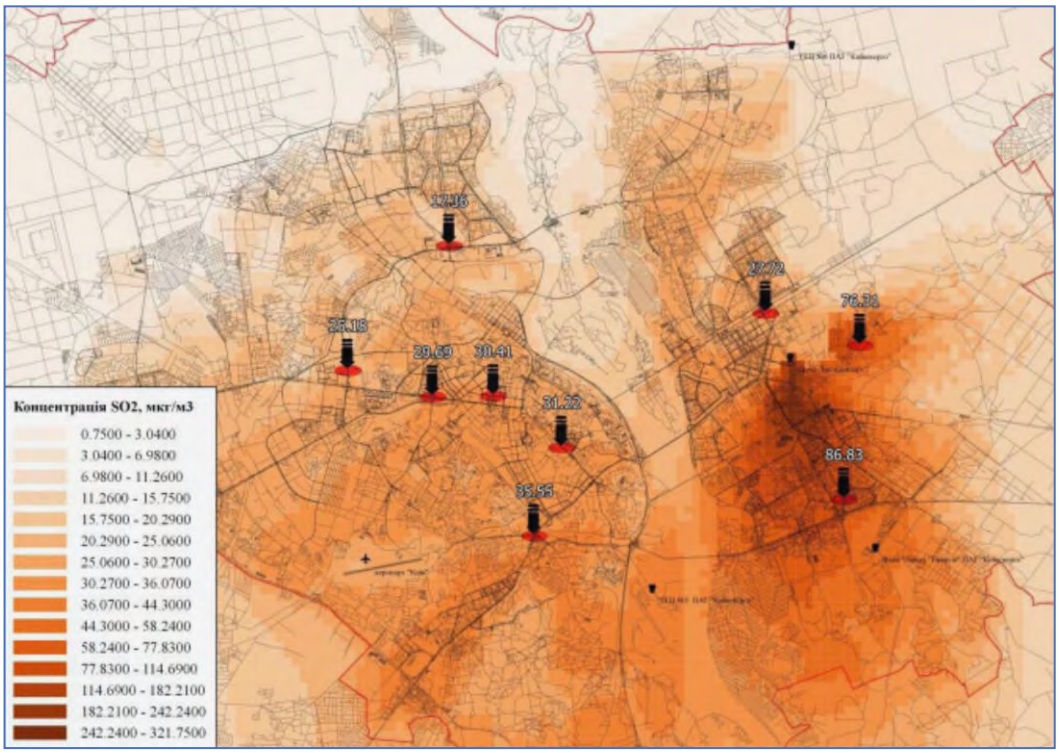


Рисунок 7.10 – Концентрації SO_2

за сценарієм екологічно сприятливого транспорту [454, 461]

Як видно на рис. 7.3 – рис. 7.10 нижче за сценарієм впровадження екологічно сприятливого транспорту та перспективних транспортних систем в цілому є можливим в майбутньому кардинально зменшити викиди забруднювальних речовин в місцях масового зосередження людей у місті Києві [454, 461]:

- NO_x – до 20 разів;
- SO_2 – до 4,5 разів;
- CO – до 8 разів;
- $PM_{2.5}$ – до 14 разів.

Основні результати роботи призначені для використання центральними та місцевими органами виконавчої влади, інвесторами під час оцінки ефективності та оптимізації інфраструктурних проектів, управління якістю атмосферного повітря міст, прогнозування та зменшення наслідків виникнення масштабних ситуацій надзвичайного характеру.

Наведені у цьому розділі результати опубліковано в [449 – 462].

7.5. Висновки до розділу 7

1. Вирішено комплекс пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю реконструкції даних щодо розгорнутої структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря.

2. Вперше було відтворено вихідні дані (які відсутні в статистичній звітності або в адміністративних джерелах даних) щодо структури та активності парку дорожніх транспортних засобів в Україні, окремо за кожний рік в період 1990-2016 рр., та окремо у 2020 р., необхідні для розрахунку споживання енергії та викидів забруднювальних речовин автомобільним транспортом відповідно до міжнародних вимог.

3. Вперше здійснено інвентаризацію та верифікацію даних щодо споживання енергетичних ресурсів автомобільним транспортом та позашляховим транспортом з використанням аналізу часових рядів разом із комплексом інших даних, що стосуються енергетичного сектору та економічної діяльності країни в цілому, за результатами якої здійснено реконструкцію відсутніх даних, істотно уточнено наявні офіційні статистичні дані та покращено якість представлення динамічного ряду даних про споживання моторних палив транспортом України в період 1990-2015 рр.

4. Вперше визначено усереднені показники питомого споживання енергії парком дорожніх транспортних засобів в Україні з використанням методики ЕЕА (Європейського Агентства з навколишнього середовища).

5. Вперше здійснено інвентаризацію викидів парникових газів та інших забруднювальних речовин автомобільним транспортом відповідно до міжнародних вимог, що, поряд із іншими заходами у сфері національної інвентаризації викидів парникових газів, дозволило відновити участь України у механізмах Кіотського протоколу.

6. Вперше відтворено раніше відсутні дані щодо структури та середніх національних значень вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку України в період 1990-2014 рр. (окремо за кожний рік) за розробленою методикою та з використанням математичного моделювання.

7. Вперше в Україні здійснено прогнозування стану атмосферного повітря та основі моделювання з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля міста (на прикладі пілотної моделі для м. Києва) залежно від основних факторів впливу та здійснено оцінку екологічної ефективності заходів і проектів з покращення якості повітря.

8. Вперше визначено з використанням математичного апарату і програмного забезпечення THOR-Air-PAS потенціал покращення якості атмосферного повітря м. Києва реалізацією цілого комплексу різноманітних заходів.

9. Наведені вище результати в цілому надають принципово нові інструменти для подальшого відслідковування ефективності та поточного коригування комплексу різноманітних заходів з управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря дорожніми транспортними засобами, що розглядають в єдиній системі.

ВИСНОВКИ

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, створені у роботі технології, методи, обладнання, та пропозиції щодо державного регулювання у визначеній сфері, спрямовані на розв'язання важливої науково-прикладної проблеми реалізації системного управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря ДТЗ, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Створено концепцію, систему, що її реалізує, математичний апарат та математичні моделі, адекватність яких доведена порівнянням статистичних даних та результатів розрахунків, що надали можливість визначити шляхи системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ:

- оцінити на періоди до 2030 р. і 2050 р. за різними сценаріями соціально-економічного розвитку країни та варіантами управління, які характеризують існуючий та перспективні варіанти політики у сфері регулювання екологічних вимог та вимог до енергоефективності ДТЗ, змінення загальної кількості і складу активних ДТЗ, загального споживання традиційних, альтернативних моторних палив та електроенергії енергії парком ДТЗ, викидів CO_2 і зведених до СО викидів ЗР.

Як приклад, за базовим макроекономічним сценарієм і поточним варіантом управління очікується збільшення кількості ДТЗ з 8,4 млн. од. у 2020 р. до 10,7 млн. у 2030 р. і до 20,1 млн. у 2050 р. та істотне покращення екологічної структури парку, загальне споживання енергії з орієнтовно 325 ПДж у 2020 р. зросте до 509 ПДж у 2030 р. та, ймовірно, до 732 ПДж у 2050 р. До 2050 р. викиди CO_2, ймовірно, зростуть до 52,2 млн. т та вже наближатимуться надалі до 100% від рівня 1990 р. Орієнтовно у 2031 р. викиди CO_2 вже можуть зрівнятися з 60% викидів від рівня 1990 р. або перевищити їх. Умовні, зведені до СО, викиди ЗР поступово

зменшуватимуться навіть за умов збереження поточного регулювання у цій сфері, через природнє оновлення парку;

- встановлено, що вплив реалістичного збільшення кількості електромобілів не відіграватиме помітної ролі на споживання енергії (та викиди CO_2) транспортом ще до 2030 р., та може становитиме лише 1,7 % у 2050 р., навіть за умов зростання частки електромобілів до 13,8% у 2050 р.

- показано, що, за базовим макроекономічним сценарієм та поточним регулюванням норм викидів ЗР ДТЗ, основна частина зведених до СО викидів ЗР припадає на ДТЗ з дизелями із поступовим зменшенням до 2030 р. «внеску» ДТЗ, що споживають бензин і ЗНГ і наступною його стабілізацією до 2050 р. Інтенсивне зменшення зведених до СО викидів ЗР від ДТЗ з дизелями за цим сценарієм можна очікувати лише після 2030 р. зі зменшенням на 50% орієнтовно лише у 2037-2039 рр. за умов виведення з експлуатації ДТЗ застарілих конструкцій, які мають значні вік та загальний пробіг;

- з точки зору практичного застосування доцільно розглянути сценарій, що передбачає впровадження з 2023 р. мінімальних екологічних вимог для автомобілів, що були в користуванні, з дизелями – норм «Євро-5», та з бензиновими двигунами – норм «Євро-4». Отримані результати математичного моделювання доводять можливість зменшити умовні зведені викиди токсичних речовин від автотранспорту в атмосферне повітря з орієнтовно 37,6 млн. т у 2020 р. до 27 млн. т у 2025 р. і 24,8 млн. т у 2030 р. проти 30 млн. т. у 2025 р. і 27,6 млн. т у 2030 р. за базовим макроекономічним сценарієм. Тобто, у порівнянні з базовим варіантом управління в цій сфері, зменшення становитиме 10 % у 2025 р. і також всього 10 % у 2030 р., що зумовлено значною кількістю вже ввезених в країну ДТЗ значного віку та із значним загальним пробігом.

Таким чином, результати математичного моделювання доводять, що кардинальне зменшення викидів автотранспортом та покращення якості атмосферного повітря міст у середньостроковій перспективі, окрім

впровадження більш прогресивних екологічних норм до ДТЗ, що вперше вводять в експлуатації (реєструють) в України, та розвитку електричного транспорту, потребує також реалізації комплексу заходів із зменшення викидів в цілому від потоків автотранспорту, що вже перебуває в експлуатації.

Встановлено, що єдиним дійовим та доступним у практичній площині заходом із істотного покращення якості атмосферного повітря в містах України є саме диференціація умов доступу транспорту до надмірно забруднених територій (впровадження екологічних зон, як це відбувається в країнах ЄС).

2. Забезпечено створення та розвиток цілісного комплексу нових технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів ЗР ДТЗ, що:

- вперше в Україні надав можливості з проведення випробувань ДТЗ та їх двигунів відповідно до вимог міжнародних технічних регламентів у цій сфері;

- надав принципово нові, раніше не доступні в країні, можливості для здійснення експериментальних та розрахункових досліджень ДТЗ та їх двигунів, моторних палив різних рецептур тощо, проведення наукових досліджень в різних сферах.

Серед розроблених автором, створених і впроваджених технологій, методів та обладнання слід зазначити, зокрема:

- універсальну систему аналізу емісії частинок моделі «МТ-010» з мікротунелем у складі, та нові методи частково потокового визначення масових викидів ЗР, на які отримано патенти України на винахід № 120492 та на корисну модель № 135786, № 135789;

- універсальну систему відбору проб постійного об'єму для визначення масових викидів забруднювальних речовин (система CVS моделі «EMMS-CVS-010») із повно-потоковим тунелем, на яку отримано патенти України на

винахід № 120491 та на корисну модель № 135775, № 135777, № 135778, № 136768;

- перспективну технологію (метод) та систему визначення масових викидів транспортних засобів з низьким рівнем емісії, якій надано назву «Variable Volume Sampling System», на яку отримано патенти України на винахід № 120491 та на корисну модель № 135775, № 135777, № 135778;

- програмно-апаратний комплекс «Vehicle Performance Analysis System», що є єдиною платформою для проведення випробувань транспортних засобів і двигунів, та поєднує в одній системі експериментальні та віртуальні (математичне моделювання) методи досліджень;

- мікропроцесорні системи автоматизованого управління стендами для випробування двигунів та автомобілів, системи збору, обробки та аналізу даних вимірювань;

- технологію визначення кількості, розподілу за розмірами та хімічного складу канцерогенних нано-частинок у складі відпрацьованих газів двигунів та у продуктах зносу шин і гальм транспортних засобів, на яку отримано патенти України на винахід № 122308 та на корисну модель № 136787;

- технологію (метод) для визначення масових викидів ЗР безпосередньо на борту транспортного засобу в умовах реальної експлуатації, на яку отримано патенти України на винахід № 120905 та на корисну модель № 135788, № 136772 (технологія «мікро-CVS»).

Комплекс високотехнологічного випробувального, вимірювального та аналітичного обладнання від провідних світових виробників інтегровано у склад випробувальної лабораторії разом з обладнанням власної розробки, як цілісний комплекс, зі створенням відповідної інженерної та інформаційної інфраструктури.

3. Запропоновано основи прогресивної системи регулювання екологічних властивостей ДТЗ:

- розроблено пропозиції щодо формування державної стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом, що охоплюють, напрями: підвищення ефективності використання ДТЗ, що перебувають в експлуатації; підвищення ефективності транспортної системи в цілому з оптимізацією використання різних видів транспорту та покращенням інфраструктури; оновлення автомобільного парку на енергетично більш ефективні конструкції транспортних засобів;

- запропоновано концепцію реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання екологічних властивостей ДТЗ. Аналіз досвіду маркування транспортних засобів в інших країнах дає підставу запропонувати, зокрема, наступні загальні положення як основу концепції єдиної системи екологічного маркування ДТЗ, як інструменту екологічного управління та управління інноваціями в галузі:

єдина система екологічного маркування ДТЗ повинна дати місцевим адміністраціям та громадам принципову можливість гнучкого вибору конкретного рівня вимог на основі набору стандартизованих рішень, що відповідають основним типам екологічної шкоди від експлуатації транспорту та істотним екологічним властивостям транспортних засобів різних конструкцій;

оцінюючи рівень інгредієнтного забруднення транспортними засобами атмосферного повітря, слід враховувати як відпрацьовані гази двигунів, так і продукти зносу шин, дорожнього покриття та гальм;

доцільно вводити зведений рівень загальної токсичної дії транспортного засобу, враховуючі як нормовані, так і ненормовані на даний час забруднювачі;

оцінка рівня інгредієнтного забруднення атмосферного повітря транспортним засобом повинна бути динамічною, тобто вона повинна враховувати погіршення стану систем контролю викидів під час експлуатації транспортного засобу;

- як основу маркування рівня екологічної небезпеки запропоновано результати дослідження умовних зведених викидів ЗР (г/км та г/ткм) ДТЗ різних екологічних класів «Євро», що розраховано за 64 основними видами забруднювачів, ґрунтуючись на встановлених коефіцієнтах їх шкідливості відносно оксиду вуглецю;

- вперше визначено обґрунтовані рівні вимог до транспортних засобів в екологічних зонах, що є доцільним запроваджувати в Україні та методами математичного моделювання вперше отримано прогнози зменшення усередненого рівня зведених викидів ЗР від транспортних потоків за рахунок впровадження екологічних зон різного рівня вимог;

- отримані результати дозволили розробити універсальну, зручну та ефективну систему класифікації поточних рівнів екологічної небезпеки (РЕН) інгредієнтного забруднення та відповідного маркування ДТЗ різних категорій. Запропонована універсальна класифікація рівнів екологічної небезпеки є геометричною прогресією із знаменником, що дорівнює 1 дБ, в межах якої організовано 6 рівнів екологічних зон: біла; голуба; зелена; жовта; червона та сіра;

- зведені викиди ЗР запропоновано як основу для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря, та на підставі отриманих результатів сформульовано обґрунтовані пропозиції щодо подальшого технічного регулювання норм викидів з відпрацьованими газами транспортних засобів основних видів токсичних речовин.

4. Вперше, на основі дослідження проведених випробувань в європейському їздовому циклі NEDC великої репрезентативної вибірки автомобілів (1157 одиниць), розроблених і сертифікованих раніше відповідно до вимог північно-американських стандартів, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, на предмет відповідності встановленим нормам викидів ЗР:

- отримано характеристики розподілу цієї продукції щодо відповідності вимогам екологічних стандартів за окремими нормованими компонентами;

- встановлено, що значна частина продукції світової автомобілебудівної промисловості не відповідає вимогам північно-американських та європейських технічних регламентів щодо підтримання встановлених екологічних норм протягом встановленого періоду експлуатації та пробігу;

- отримано нові залежності погіршення екологічних властивостей великої вибірки автомобілів по мірі збільшення їх загального пробігу;

- встановлено, що системи OBD на автомобілях провідних автовиробників Японії, США та Європи масово не виконують задекларовану функцію повідомлення про перевищення встановлених нормативних значень питомих викидів.

5. Доведено необхідність розроблення нових підходів у сфері інструментального контролю екологічної небезпеки сучасних ДТЗ під час їх оцінки придатності до експлуатації із доповненням режимів холостого ходу двигунів навантажувальними режимами. Одним з запропонованих елементів вирішення цієї проблеми може бути розроблена технологія «мікро-CVS» для визначення масових викидів ЗР безпосередньо на борту транспортного засобу в процесі руху на дорозі.

6. Отримано результати комплексного дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації на споживання палива автомобілями, на основі яких істотно вдосконалено систему нормування та управління витратами енергії автомобілями в експлуатації, що успішно впроваджено у третій, принципово новій редакції нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті», що набула широкого використання в Україні суб’єктами господарювання та контролюючими органами, та надало дійові інструменти для підвищення ефективності використання енергії та, опосередковано, забруднення атмосферного повітря.

7. Вирішено комплекс пріоритетних, продиктованих міжнародними вимогами, проблемних завдань, пов’язаних з необхідністю відтворення даних щодо розгорнутої структури та активності парку ДТЗ в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних ЗР, та моніторингом стану забруднення атмосферного повітря, зокрема:

- вперше здійснено інвентаризацію викидів парникових газів та інших ЗР автомобільним транспортом відповідно до міжнародних вимог, що, поряд із іншими заходами у сфері національної інвентаризації викидів парникових газів, дозволило відновити участь України у механізмах Кіотського протоколу;

- вперше відтворено вихідні дані (які відсутні в статистичній звітності або в адміністративних джерелах даних) щодо структури та активності парку ДТЗ в Україні, необхідні для розрахунку споживання енергії та викидів ЗР автомобільним транспортом відповідно до міжнародних вимог;

- вперше здійснено інвентаризацію, верифікацію, уточнення та реконструкцію даних щодо споживання енергетичних ресурсів автомобільним транспортом та позашляховим транспортом з використанням математичного моделювання та аналізу часових рядів та за результатами істотно уточнено наявні офіційні статистичні дані та покращено якість представлення динамічного ряду даних про споживання моторних палив транспортом України в період 1990-2015 рр.;

- вперше визначено усереднені показники питомого споживання енергії парком ДТЗ в Україні з використанням методики ЕЕА;

- вперше відтворено раніше відсутні дані щодо структури та середніх національних значень вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку України в період 1990-2014 рр. (окремо за кожний рік) за розробленою методикою та з використанням математичного моделювання;

- вперше в Україні здійснено прогнозування стану атмосферного повітря на основі моделювання з високою роздільною здатністю стану забруднення довкілля міста (на прикладі пілотної моделі для м. Києва) залежно від основних факторів впливу та здійснено оцінку екологічної ефективності заходів і проектів з покращення якості повітря. Зокрема, визначено потенціал можливого зменшення концентрацій ЗР в місцях масового зосередження людей у місті Києві: NO_x – до 20 разів; SO_2 – до 4,5 разів; CO – до 8 разів; $PM_{2.5}$ – до 14 разів.

8. Наведені вище результати в цілому надають принципово нові інструменти для подальшого відслідковування ефективності та поточного коригування комплексу різноманітних заходів з управління підвищенням ефективності використання енергії та зменшенням забруднення атмосферного повітря ДТЗ, що розглядають в єдиній системі.

9. Результати дисертаційної роботи отримали впровадження в системі Мінінфраструктури, Міндовкілля, Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, Державної служби статистики України, на підприємствах автомобілебудівної промисловості.

Результати дисертаційної роботи впроваджено:

1. Міністерством інфраструктури України, зокрема:

- у нормативному документі «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» в редакції, затвердженому наказом Міністерства інфраструктури України від 24.01.2012 № 36;

- у нормативному документі «Порядок затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання» затверджений наказом Міністерства інфраструктури України від 17.08.2012 № 521;

- Рекомендаціях (висновках) технічної служби, ухвалених Комісією Міністерства інфраструктури України з питань забезпечення виконання Женевської Угоди 1958 року (протоколи від 09.02.2018 № 24 та від 19.12.2018

№ 33) щодо врегулювання проблемних питань підтвердження відповідності екологічним вимогам автомобілів, що імпортують з інших країн, зокрема з США, які не мають європейського підтвердження типу.

До впровадження Міністерством інфраструктури України також прийнято, зокрема, такі результати:

- пропозиції до інноваційної системи маркування транспортних засобів за рівнем екологічної небезпеки і впровадження екологічних зон в містах;

- пропозиції до проєкту «Концепції реалізації державної політики у сфері маркування та регулювання істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів».

2. Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України:

- у Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів 2012 року подання, що охоплює період 1990 – 2010 рр., в частині викидів парникових газів (CO2, N2O, CH4) дорожнім транспортом, вперше визначених в Україні методом вищого рівня відповідно до вимог Європейського агентства навколишнього середовища на основі вперше виконаної реконструкції (відтворення) відсутніх статистичних даних щодо детальної структури парку колісних транспортних засобів, що експлуатують на дорогах України, та їх активності;

- у Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів 2018 року подання, що охоплює період 1990 – 2016 рр., та національних кадастрів 2019 і 2020 років подання в частині визначених методами математичного моделювання ретроспективних значень вмісту вуглецю, нижчої теплоти згоряння та коефіцієнтів викидів діоксиду вуглецю від використання моторних палив дорожнім транспортом.

Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України також прийнято до використання результати верифікації даних про споживання моторних палив у категоріях транспортного сектору Національного кадастру

антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990 – 2015 роки.

За проханням Міндовкілля та Інституту економіки та прогнозування НАН України, отримані у розділі 3 результати моделювання також було їм передано у січні 2021 р. з метою обґрунтування коригування цільових завдань другого національно визначеного внеску України за Паризькою угодою (тобто міжнародних зобов'язань України), в частині, що стосується дорожнього транспорту.

3. Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України результати дисертаційного дослідження впроваджено у співробітництві з Міжнародним енергетичним агентством.

Вперше розроблені показники ефективності використання енергії у секторі дорожнього транспорту України були передані Міжнародному енергетичному агентству (МЕА), та отримали підтримку в МЕА, а саме – було запропоновано використати розроблену в цій роботі методологію розрахунку показників енергоефективності для транспортного сектору як приклад для інших країн, включаючи країни OECD.

4. Державною службою статистики України впроваджено, зокрема, вперше отримані результати системного аналізу енергетичної статистики у транспортному секторі України, розроблені підходи до реконструкції відсутніх та уточнення наявних статистичних даних щодо споживання транспортом різних видів енергетичних ресурсів, зокрема, з використанням аналізу часових рядів, а також методів математичного моделювання.

Автомобілебудівною промисловістю впроваджено розроблені під науковим керівництвом автора інноваційні технології та високотехнологічне обладнання для проведення комплексу НДДКР з визначення напрямів поліпшення показників двигунів і автомобілів, створення нових зразків техніки, та робіт з оцінки відповідності продукції сучасним вимогам міжнародних технічних регламентів.

Відповідні акти впровадження надано:

5. Асоціацією автовиробників України (Асоціацією «Укравтопром»).

6. Технічним центром ПрАТ «ЗАЗ».

7. ПрАТ «АвтоКрАЗ».

8. ТОВ «Чернігівський автозавод».

9. АТ «Черкаський автобус».

10. ТОВ «НВП Джионікс» (розробник та виробник електронних систем керування двигунами транспортних засобів).

Автовиробниками зазначено, що, створений під науковим керівництвом автора дисертаційного дослідження випробувальний комплекс ДП «ДержавтотрансНДІпроект» надає унікальні в Україні можливості зі створення високотехнологічної, інноваційної та конкурентоспроможної продукції відповідно до вимог міжнародних стандартів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони // https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text

2 Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text

3 Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-р#Text

4 Навколишнє середовище в умовах переходу до ринкової економіки. Прогрес у країнах Центральної і Східної Європи і в Нових Незалежних Державах. Публікація ОЕСР, 1999

5 Публікації Європейського агентства з навколишнього середовища (Air quality in Europe - 2015 report, EEA Report No 5/2015)

6 Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organisation, 2016. ISBN 978 92 4 1511353

7 Sadler Consultants Ltd (2020). Urban Access Regulations in Europe: Overview of website. https://www.urbanaccessregulations.eu/userhome/general-overview

8 Bernard, Y., Miller, J., Wappelhorst, S., Braun, C. (2020). Impacts of the Paris low-emission zone and implications for other cities. FIA Foundation. https://theicct.org/sites/default/files/publications/Paris-LEV-implications-03.12.2020.pdf

9 Nikolas Hill, Elisabeth Windisch, Alexey Klimenko. Development of national policy on regulation of road transport CO2 emissions and energy consumption in Ukraine – Clima East project report / Ricardo Energy & Environment

(United Kingdom), State Enterprise State Road Transport Research Institute (Ukraine), 212 p.

10 Miller J. Impacts of world class vehicle efficiency and emissions regulations in select G20 countries [Електронний ресурс] / J. Miller, L. Du, D. Kodjak // The International Council on Clean Transportation. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/publications/impacts-world-class-vehicle-efficiency-and-emissions-regulations-select-g20-countries.

11 ANNUAL ENERGY OUTLOOK [Електронний ресурс] // U.S. Energy Information Administration. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo18/.

12 Transportation Energy Data Book Edition 36.2 [Електронний ресурс] // Oak Ridge National Laboratory. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://tedb.ornl.gov/.

13 Policy Handbook for the Regulation of Imported Second-Hand Vehicles [Електронний ресурс] / J.Macias, A. Aguilar, G. Schmid, E. Francke // Global Fuel Economy Inititiative. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://relaunch.ledsgp.org/wp-content/uploads/2016/03/Policy-Handbook-for-the-Regulation-of-Imported-Second-Hand-Vehicles.pdf.

14 Президент OICA Маттиас Виссман: «Электромобили предлагают существенную альтернативу двигателям внутреннего сгорания, однако не являются единственным решением в мировом масштабе» [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/107/21.pdf.

15 Главный инженер TOYOTA сомневается в перспективах широкого распространения электромобилей даже с быстрой зарядкой [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/95/19.pdf.

16 Роль колесных транспортных средств в глобальном загрязнении атмосферы выбросами парниковых газов — CO2 [Електронний ресурс]

// Журнал Автомобильных Инженеров. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/73/8.pdf.

17 2050. Greenhouse Gas Emissions Projections for Ukraine – Executive Summary [Електронний ресурс] // European Bank for Reconstruction and Development. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ebrd.com/downloads/sector/eecc/GHG_emissions_projections_for_Ukraine_20111021.pdf.

18 Захаров А. Тенденции развития мировой энергетики [Електронний ресурс] / А. Захаров, М. Овакимян // Мировое и национальное хазяйство. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://mirec.mgimo.ru/2015/2015-01/tendencii-razvitia-mirovoj-energetiki.

19 Technology Roadmap Fuel Economy of Road Vehicles [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-fuel-economy-of-road-vehicles.

20 В.К.Азаров, В.Ф.Кутенев, А.А.Эйдинов, Е.С.Евдонин. Об экологической опасности активного использования невозобновляеных ресурсов нашей планеты. Журнал автомобильных инженеров. 2014, №2(85), С46-50.

21 Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report [Електронний ресурс] // European Environment Agency. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle.

22 Дослідження та розроблення рекомендацій щодо зменшення питомого споживання енергоносіїв автомобільним транспортом. Проміжний звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з НДР, № Державного реєстру НДР - 0115U006026, 2016 р., 154 с. та додаток на 115 с.

23 Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища в Україні у І півріччі 2016 року (за даними мережі спостережень національної гідрометслужби України).

24 Sadler Consultants Ltd (2020). Urban Access Regulations in Europe: Overview of website. https://www.urbanaccessregulations.eu/userhome/general-overview.

25 Экономика современных и перспективных конструкций автомобилей в их полном жизненном цикле [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/78/46.pdf.

26 Методика технико-экономической и экономической оценки эффективности мероприятий по снижению вредных выбросов [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0057/art013.htm.

27 Heavy Duty Vehicles Technology Potential and Cost Study Heavy Duty Vehicles Technology Potential and Cost Study Final Report for the International Council on Clean Transportation (ICCT) [Електронний ресурс] // International Council on Clean Transportation (ICCT).. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/sites/default/files/publications/HDV-Technology-Potential-and-Cost-Study_Ricardo_Consultant-Report_26052017_vF.pdf.

28 Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses [Електронний ресурс] // National Research Council Canada. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://tc.canada.ca/en/programs/non-funding-programs/ecotechnology-vehicles-program/review-aerodynamic-drag-reduction-devices-heavy-trucks-buses.

29 О роли производителей автомобилей в снижении эксплуатационного расхода топлива [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных

Инженеров. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/84/8.pdf.

30 Существует ли альтернатива дорогому электромобилю по выбросу ВВ и ПГ [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/82/10.pdf.

31 Составят ли электромобили и подключаемые к электросети гибридные автомобили PHEV конкуренцию традиционным ДВС? [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/95/12.pdf.

32 Роль колесных транспортных средств в глобальном загрязнении атмосферы выбросами парниковых газов — CO2 [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/73/8.pdf.

33 Современные требования к уровню энергетической эффективности [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/84/28.pdf.

34 Overview of the DOE Advanced Combustion Engine R&D Program [Електронний ресурс] // U.S. Department of Energy. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/09/f18/ace_rd_overview_2014_amr.pdf.

35 Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standards: A Global Update [Електронний ресурс] // International Council on Clean Transportation (ICCT). – 2007. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/sites/default/files/publications/PV_standards_2007.pdf.

36 Energy efficiency trends in EU [Електронний ресурс] // Odyssee-Mure. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://www.odyssee-mure.eu/publications/archives/synthesis-energy-efficiency-trends-policies.pdf.

37 Transport, Energy and CO2: Moving toward Sustainability [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: https://www.iea.org/news/transport-energy-and-co2-moving-toward-sustainability.

38 Cradle-to-Grave LCA of U.S. LDV-Fuel Pathways 2015 and Future (2025-2030) Techs [Електронний ресурс] // Argonne National Library. – 2015.– Режим доступу до ресурсу: https://publications.anl.gov/anlpubs/2016/05/127895.pdf.

38 Vehicle and Fuel Cell Technologies [Електронний ресурс] // Argonne National Library. 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://publications.anl.gov/anlpubs/2017/11/140256.pdf.

39 Effects of Travel Reduction and Efficient Driving on Transportation: Energy Use and Greenhouse Gas Emissions [Електронний ресурс] // U.S. Department of Energy. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55635.pdf.

40 EUROPEAN HEAVY-DUTY VEHICLES: COST-EFFECTIVENESS OF FUELEFFICIENCY TECHNOLOGIES FOR LONG-HAUL TRACTOR-TRAILERS IN THE 2025–2030 TIMEFRAME [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2018. Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-HDV-tech-2025-30_20180116.pdf.

41 IMPACTS OF WORLD-CLASS VEHICLE EFFICIENCY AND EMISSIONS REGULATIONS IN SELECT G20 COUNTRIES [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/publications/impacts-world-class-vehicle-efficiency-and-emissions-regulations-select-g20-countries.

42 Hill N. Increasingly efficient light duty vehicles Nikolas Hill [Електронний ресурс] / Nikolas Hill // Ricardo Energy and Environment.

– 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.europarl.europa.eu/cms data/140812/3.%20Nikolas%20Hill%20-%20Increasingly%20efficient%20light%20duty%20vehicles.pdf.

43 Impact of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency in Road Transport- Final Report [Електронний ресурс] // European Commission. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6b4f8023-5a8a-4b97-8d29-82924574cc97.

44 Assessing the impacts of selected options for regulating CO2 emissions from new passenger cars and vans after 2020 [Електронний ресурс] // Ricardo Energy and Environment. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/ldv_post_2020_co2_en.pdf.

45 An Integrated Strategic Plan for the Research, Development, and Demonstration of Hydrogen and Fuel Cell Technologies [Електронний ресурс] // U.S. Department of Energy. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/program_plan2011.pdf.

46 Создание новейших водородных технологий для наземных транспортных средств: современное состояние и прогноз на будущее [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/69/11.pdf.

47 Проблемы водородной энергетики и перспективы ее использования в мобильных машинах. // Автомобильная промышленность. – 2015. – №5. – С. 7.

48 Система водородной энергетики. // Автомобильная промышленность. – 2005. – №7. – С. 4.

49 Окружные силы ведущих колес автомобиля и силы тяги. // Автомобильная промышленность. – 2013. – №12. – С. 28.

50 Анализ экологических требований «ЕВРО-6» к автомобильным двигателям [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/104/40.pdf.

51 К вопросу об экологически чистом городском транспорте [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/97/36.pdf.

52 Оценка вредных выбросов грузовых автомобилей и автобусов в эксплуатации. Мировой опыт [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/92/46.pdf.

53 Об экологической опасности активного использования невозобновляеных ресурсов нашей планеты [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/85/46.pdf.

54 Экологическая опасность активного использования невозобновляемых ресурсов. // Автомобильная промышленность. – 2014. – №7. – С. 3.

55 Может ли автомобиль быть экологически чистым? [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/87/58.pdf.

56 The Future of Trucks Implications for energy and the environment [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://www.oecd.org/publications/the-future-of-trucks

57 Исследование показывает, что британские автомобилисты проезжают за свою жизнь более полумиллиона миль [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/104/48.pdf.

58 Составят ли электромобили и подключаемые к электросети гибридные автомобили PHEV конкуренцию традиционным ДВС? Журнал Автомобильных инженеров. 2015, №6(95). С.12-18.

59 Насколько реальны заявленные показатели расхода топлива и эмиссии CO2 для гибридных автомобилей [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/91/45.pdf.

60 Energy Carriers for Powertrains 2014 // ERTRAC: Energy and Environment [Электронный ресурс]. URL: www.ertrac.org

61 Экономика современных и перспективных конструкций автомобилей в их полном жизненном цикле [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/78/46.pdf.

62 Argonne National Laboratory Report 2010 // USA Department of Energy [Электронный ресурс]. URL: www.anl.gov

63 Hooftman, N., Oliveira, L., Messagie, M., Coosemans, T., Van Mierlo (2016) J. Environ-mental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting. En-ergies , 9, 84. https://doi.org/10.3390/en9020084.

64 Brennan, J.W. and Barder, T.E. (2017) Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion En-gine Vehicles: A United States-Based Compre-hensive Assessment. Arthur D. Little 2016.: https://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/battery-electric-vehicles-vs-internal-combustion-engine-vehicles.

65 McKone, T.E., Hertwich, E.G (2001) The human toxicity potential and a Strategy for Evaluating Model Performance in Life Cycle Impact Assessment. Int. J. LCA 6, 106–109. https://doi.org/10.1007/BF02977846.

66 Environmental Impacts of Road Vehicles Past, Present and Future. Issues in environmental science and technology No. 44. The Royal Society of Chemistry. United Kingdom by CPI Group (UK) Ltd, Croydon, 2017.248p.

67 Оценка жизненного цикла — основа совершенствования АТС. // Автомобильная промышленность. – 2003. – №11. – С. 9.

68 Non-fiscal measures to improve fuel economy [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://www.globalfueleconomy.org/media/45915/zifei-yang-thu.pdf.

69 Комплексный подход к формированию транспортной политики мегаполисов в условиях перегруженности улично-дорожных сетей [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0060/art012.htm.

70 Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: Монографія / Держ. автотр. наук.-досл. і проект. інст. / За заг. ред. А.М. Редзюка.- К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005.- // Впровадження міжнародних екологічних вимог до КТЗ в Україні / Редзюк А.М., Климпуш О.Д., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. // С.302-308 // Екологічні вимоги Правил ЄЕК ООН та Директив ЄС до КТЗ і двигунів / Редзюк А.М., Климпуш О.Д., Гутаревич Ю.Ф., Устименко В.С., Клименко О.А. С.286-302.

71 Уведення екологічних норм Євро-3 - Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками. Редзюк А.М., Устименко В.С., Клименко О.А., Бондар О.В. «Автошляховик України», 2011, № 4. - с. 2-6

72 А.М.Редзюк, В.Б.Агеєв, В.С.Устименко, О.А.Клименко. Пропозиції щодо екологічної класифікації колісних транспортних засобів та її застосування. Автошляховик України, 2006, № 5. С. 3-8

73 Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Інтеграція України до ЄС у сфері захисту довкілля від шкідливих викидів автомобільного транспорту: задачі та перспективи. Автошляховик України, 2005, № 1. С. 3-7

74 Клименко О.А. Серія заміток “Відкриваємо Америку. Система підтвердження відповідності продукції: американська і європейська моделі. Порівняльний аналіз. Автошляховик України, 2004, № 4, С. 25.

75 Перспективы развития технических требований к транспортным средствам по экологическим показателям и топливной экономичности в Российской Федерации [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/86/20.pdf.

76 Канило П. М. Автотранспорт. Топливно-экологические проблемы и перспективы / П. М. Канило. – Харьков: ХНАДУ, 272. – 272 с. – (Інститут проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного). – (978-966-303-477-5).

77 К вопросу о разработке обоснованно-справедливого начисления налога на автомобильный транспорт [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/92/60.pdf.

78 Транспортный налог: враг природы, производства и потребителя АТС. // Автомобильная промышленность. – 2008. – №12. – С. 6.

79 Ricci, A., Gaggi, S., Enei, R., Tomassini, M., Fioretto, M., Gargani, F., Stefano, A.Di., Gaspari, E. (2017). Study on Urban Vehicle Access Regulations (Final Report). European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport. DOI:10.2832/64096.

80 EES European Eco Service GmbH (2020). The central portal for all European environmental zones. Available at: https://www.green-zones.eu/en

81 Amundsen, A.H., and Sundvor, I. (2018). Low Emission Zones in Europe Requirements, enforcement and air quality. TØI report 1666/2018. Available at: https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=49204

82 Grand Voyage (2020). Экологические зоны и другие ограничения движения в Европе. Available at: https://krass56.ru/ecological_zones_in_the_cities_of_europe_restrictions_for_cars.html

83 European Consumer Centre France (2020). Environmental zones in Europe. Available at: https://www.europe-consommateurs.eu/en/consumer-topics/on-the-road/travelling-by-car/car-traffic-rules-in-europe/environmental-zones-in-europe/

84 Sadler Consultants Ltd (2020a). Urban Access Regulations in Europe: Impact of Low Emission Zones. Available at: https://urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main/impact-of-low-emission-zones

85 Sadler Consultants Ltd (2020b). Urban Access Regulations in Europe: Overview of website. Available at: https://www.urbanaccessregulations.eu/userhome/general-overview

86 Bernard, Y., Miller, J., Wappelhorst, S., Braun, C. (2020). Impacts of the Paris low-emission zone and implications for other cities. FIA Foundation. Available at: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Paris-LEV-implications-03.12.2020.pdf

87 ACEA (2019b). ACEA Tax Guide (2019). Available at: https://www.acea.be/uploads/news_documents/ACEA_Tax_Guide_2019.pdf

88 Sadler Consultants Ltd (2020c). Urban Access Regulations in Europe: Low Emission Zones (LEZs). Available at: https://www.urbanaccessregulations.eu/low-emission-zones-main

89 Crit`air (2018). Different types of environmental badges in France generates confusion – commercial transport and tourism are threatened by fees. Homepage on Crit`Air. Available at: https://www.lez-france.fr/en.html

90 C40 Cities Climate Leadership Group (2019). How to design and implement a clean air or low emission zone. Available at: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-design-and-implement-a-clean-air-or-low-emission-zone?language=en_US

91 London’s air quality schemes and Congestion Charge (2020). Available at: http://lruc.content.tfl.gov.uk/ulez-lez-comparison-table.pdf

92 Mayor of London (2017). Changes to Low Emission Zone and Expansion of the Ultra Low Emission Zone. Supporting information document. Available at: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/appendix_c1_supporting_information_document_-_copy.pdf

93 Transport and Environment (2020). Expected effects from the low emission zone on car fleet and air quality in the Brussels region. Available at: https://lez.brussels/medias/lez-note

94 Transport & Environment (2019). Low-Emission Zones are a success - but they must now move to zero-emission mobility. Available at: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_09_Briefing_LEZ-ZEZ_final.pdf

95 Christiane, M., and Frauke, S. (2014). The impact of Low Emission Zones on particulate matter concentration and public health, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice. 77, 205, 372-385, DOI:10.1016/j.tra.2015.04.029

96 Gehrsitz, M. (2017). The effect of low emission zones on air pollution and infant health, in: Journal of Environmental Economics and Management, Volume 83, 121-144, https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.02.003

97 Panteliadis, P., Strak, M., Hoek, G., Weijers, E., Zee, S., Dijkema, M. (2014). Implementation of a low emission zone and evaluation of effects on air quality by long-term monitoring, in: Atmospheric Environment, Volume 86, 113-119. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.12.035

98 Morfeld P, Groneberg D. A., Spallek M. (2014). Effectiveness of Low Emission Zones: Large Scale Analysis of Changes in Environmental NO2, NO and NOx Concentrations in 17 German Citie, in: PLoS ONE 9(8): e102999. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102999

99 Holman, C., Harrison, R., Querol. X. (2015). Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities, in:

Atmospheric Environment, Volume 111, 161-169. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.009.

100 WHO (2012). Health Effects of Black Carbon. By: Nicole AH, Janssen, N.A., Gerlofs-Nijland, M.E., Lanki, T., Salonen, R.O., Cassee, F., Hoek, G., Fischer, P., Brunekreef, B., Krzyzanowski V. Available at: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf?ua=1

101 Sadler, L (2020). Low Emission Zonez: Detailed description of the initial objectives of the measure. Mayor of London.

102 Hooftman, N., Oliveira, L., Messagie, M., Coosemans, T., Van Mierlo (2016) J. Environmental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting. Energies , 9, 84. https://doi.org/10.3390/en9020084.

103 Klymenko, O., Ustymenko, V., Kolobov, K., Rychok, S., Hora, M., Naumenko, N (2019). Analysis of Emissions in the European Driving Cycle of Used Light-Duty Vehicles Imported to Europe from North America. SAE Int. J. Sust. Trans., Energy, Env., & Policy 1(1):2019, https://doi:10.4271/13-01-01-0001

104 ACEA (2015). Low Emission Zones. ACEA Position Paper (2015). Available at: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_LEZ_Position_May_2015.pdf

105 European Commission (2011). Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system (White paper 2011). Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN

106 European Commission (2017). Study on urban vehicle access regulations. Final report. By ISINNOVA and PWC. April 2017. Available at: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/uvar_final_report_august_28.pdf

107 ECORYS (2014). Feasibility Study: European City Pass for Low Emission Zones, Annex A: Standards and Guidance Document. Available at: https://urbanaccessregulations.eu/images/Reports/EU_draft_guidance_LEZ_Final_Report_Standards_and_Guidance_submitted.pdf

108 Gibson, G., Tsamis, A., Cesbron, S., Biedka, M., Escher, G. (2016). Evaluation of Directive 1999/94/EC ("the car labelling Directive"). Final report (Ricardo Energy & Environment, study contract no. 340201/2015/710777/SER/CLIMA.C.2). https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/labelling/docs/car_labelling_final_report20160728_en.pdf

109 Yang, Z., Zhu, L., and Bandivadekar, A. (2015). A Review and Evaluation of Vehicle Fuel Efficiency Labeling and Consumer Information Programs (the International Council on Clean Transportation, APEC Project: EWG 05/2014A). Available at: https://theicct.org/sites/default/files/publications/VFEL%20paper%20ICCT_%20for%20APEC%20-%2012%20Nov%202015%20FINAL.pdf

110 Mock, P. (2013). Fuel economy labels: Focus on non-EU countries (IEA Paris, 2013). Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/imports/events/184/02.ICCT.130430ICCTCO2labelingoutsideEU.pdf

111 VCA (2020). Environmental labels 2020: Explanation of fields used. Available at: https://www.vehicle-certification-agency.gov.uk/additional/files/

112 Haq, G., Weiss, M. (2016). CO2 labelling of passenger cars in Europe: Status, challenges, and future prospects. Energy Policy Volume 95, 324-335. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.043

113 Codagnone, C., Veltr. G.A., Bogliacino, F., Lupiáñez-Villanueva F., Gaskell, G., Ivchenko, A., Ortoleva P., and Mureddu, F. (2016). Labels as nudges? An experimental study of car eco-labels. Econ Polit 33, 403–432. https://doi.org/10.1007/s40888-016-0042-2

114 Firkl, S. and Raimond, W. Fuel economy labelling of cars and its impacts on buying behaviour, fuel efficiency and CO2 reduction. Available at: https://p2infohouse.org/ref/17/16366.pdf

115 ANEC (2014). Empower EU consumers through visible and clear labelling information on CO2 emissions from new passenger cars. Available at: https://www.beuc.eu/publications/beuc-x-2014-053_cca_cars_co2_labelling-2014_anec-beuc_position_paper_long_version.pdf

116 Folkvord, F., Veltri, G.A., Lupiáñez-Villanueva, F., Tornese, P., Codagnone, C., and Gaskell, G. (2020). The effects of ecolabels on environmentally- and health-friendly cars: an online survey and two experimental studies. The International Journal of Life Cycle Assessment, 25, 883–899.: https://doi.org/10.1007/s11367-019-01644-4.

117 William Brazil and Brian Caulfield (2017). Current Status and Potential Role of Eco-labels in Informing Environmentally Friendly Purchases and Behaviours. Report No. 235., EPA. Available at: http://www.epa.ie/pubs/reports/research/econ/Research_235_report.pdf

118 Chowdhury, M., Salam, K. and Tay, R. (2016). Consumer preferences and policy implications for the green car market. Marketing Intelligence & Planning, Vol. 34 No. 6, 810-827. https://doi.org/10.1108/MIP-08-2015-0167

119 Yusof, J.M., Bariam Singh, G.K., Razak, R.A. (2013). Purchase Intention of Environment-Friendly Automobile. Procedia - Social and Behavioral Sciences Volume 85, 400-410. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.369.

120 Russo, A., Morrone, D., Calace, D. (2015). The Green Side of the Automotive Industry: A Consumer-Based Analysis. Journal of Marketing Development and Competitiveness Vol. 9(2). Available at: http://t.www.na-businesspress.com/JMDC/RussoA_Web9_2_.pdf

121 Siriwardena, S., Hunt, G., Teisl, M.F., Noblet, C.L. (2012). Effective environmental marketing of green cars: A nested-logit approach.

Transportation Research Part D Transport and Environment 17(3):237–242. DOI: 10.1016/j.trd.2011.11.004.

122 Morrone, D., Russo, A., and Calace D. (2015). The effectiveness of green marketing strategies in the automotive industry: a consumer based analysis. Centrum Strategii i Rozwoju Impact. Available at: http://www.csrtrends.eu/wp-content/uploads/2016/04/02.CSR_D.Morrone_A.Russo_D.Calace.pdf

123 Belli, H.C., Pizzinatto, N.K., Pizzinatto, A.K., Giuliani, A.C. (2018). Green marketing in the automotive sector: a comparative study in national and international research. UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA UNIPINHAL – Centro Regional, 16:14. Available at: http://gerpisa.org/en/node/4463

124 Jaderná, E., Boleslav, M., Přikrylová, J. (2018). Green solutions in automotive industry. MARKETING SCIENCE & INSPIRATIONS, CONTRIBUTIONS, MSI37. Available at: https://www.mins.sk/green-solutions-in-automotive-industry/

125 Mahamuni, A., Tambe, M. (2014). Green marketing in automotive industry: understanding practices and implications in Indian context through literature review. GE-International Journal of Management Research, Volume-2, Issue- 7. Available at: https://www.academia.edu/40209525/GREEN_MARKETING_IN_AUTOMOBILE_INDUSTRY_UNDERSTANDING_PRACTICES_AND_IMPLICATIONS_IN_INDIAN_CONTEXT_THROUGH_LITERATURE_REVIEW

126 Salemi, M.R. & Namamian, F. (2016). Applying green market in the automotive industry. International Business Management 10 (20): 4767-4770. Available at: http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/ibm/2016/4767-4770.pdf

127 Križanová, A., Majerová, J. Zvaríková, K. (2013). Green Marketing as a Tool of Achieving Competitive Advantage in Automotive. Transport. Proceedings

of 17th International Conference. Transport Means. 2013. Available at: https://www.researchgate.net/publication/260390860_Green_marketing_as_a_tool_of_achieving_competitive_advantage_in_automotive_transport

128 Milieusticker voor Duitsland. Everything about the German emissions sticker. Available at: https://www.germanemissionssticker.com

129 ADVANTAGE AUSTRIA (2018). Austrian emissions stickers: new compulsory labelling for foreign HGVs. Available at: https://www.advantageaustria.org/gb/oesterreich-in-united-kingdom/news/lokal/20140515_LKW- Kennzeichnungspflicht_NEU.en.html

130 ETA. Emissions stickers for driving in France. Available at: https://www.eta.co.uk/2017/09/13/emissions-stickers-for-driving-in-french-cities/

131 UKPIA – United Kingdom Petroleum Industry Association (2019). UK New Car Environmental Label. Available at: https://www.ukpia.com/policy-focus/climate-change-and-environment/new-car-environmental-label/

132 Eurocampings (2019). Emissions stickers: the rules for each country (2019). Available at: https://www.eurocampings.co.uk/blog/listing/emissions-stickers-rules-for-each-country-2019/

133 Tolls.eu (2020). Motorway toll in European countries. Available at: https://www.tolls.eu/european-countries

134 ASFINAG (2017. Toll Sticker and Digital Vignette. Available at: https://www.asfinag.at/toll/vignette/

135 ACEA (2019a). ACEA Position Paper Road Charging and the Eurovignette Directive (2019). Available at: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Position_Paper-Road_Charging_Eurovignette_November_2019.pdf

136 Poulikakos, L., Heutschi, K., Soltic, P., Cerny, I., Lees, A., Loo, H., and Mayer, R. (2018). Defining road and rail vehicles with a low environmental footprint. E! 7219 Ecovehicle final report. Available at:

https://www.empa.ch/documents/55947/78785/Abschlussbericht+ecovehicle/2df10dce-7c7c-48bc-a794-ad3e689cad3e

137 Hagman, R., Selvig, E. (2007). Environmentally Friendly Vehicles: Experiences and Definitions. TemaNord 2007:53, Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2007. Available at: https://energiatalgud.ee/img_auth.php/f/f1/Environmentally_friendly_vehicles.pdf

138 Litman, T. (2019). Well Measured: Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute. Available at: https://www.vtpi.org/wellmeas.pdf

139 Vaidyanathan, S., Slowik, P., and Junga , E. (2016). Rating the Environmental Impacts of Motor Vehicles: ACEEE's greenercars.org Methodology 2016 Edition. Report T1601. Available at: https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/t1601.pdf

140 Brennan, J.W. and Barder, T.E. (2017) Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion Engine Vehicles: A United States-Based Comprehensive Assessment. Arthur D. Little 2016. Available at: https://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/battery-electric-vehicles-vs-internal-combustion-engine-vehicles

141 McKone, T.E., Hertwich, E.G (2001) The human toxicity potential and a Strategy for Evaluating Model Performance in Life Cycle Impact Assessment. Int. J. LCA 6, 106–109. https://doi.org/10.1007/BF02977846

142 EPA (2020). Risk-Screening Environmental Indicators (RSEI) Model. US EPA (2020). Available at: https://www.epa.gov/rsei/rsei-toxicity-weights

143 Kanchan, K., Gorai, A.K., Goyal, P. (2015) A Review on Air Quality Indexing System. Asian Journal of Atmospheric Environment Vol. 9-2, 101-113. http://dx.doi.org/10.5572/ajae.2015.9.2.101

144 Letcher, T.M. and Valerro, D.A (2011). Waste: A Handbook for Management (2011). Edited by Letcher, T.M. (Trevor M.) and Valerro, D.A. Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-381475-3. Available at: https://searchworks.stanford.edu/view/9518829

145 Marques, S. et al. (2014). Eco-rating Methodologies for Private Cars: Driving Cycle Influence. Procedia - Social and Behavioral Sciences 111, 682 – 691. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.102

146 By`strov, A.S., Varankin, V.V., Vilenskij, M.A., et al. (1986). Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды (Vremennaya tipovaya metodika opredeleniya ehkonomicheskoj ehffektivnosti osushchestvleniya prirodookhrannykh meropriyatij i ocenki ehkonomicheskogo ushcherba, prichinyaemogo narodnomu khozyajstvu zagryazneniem okruzhayushchej sredy). M.: Экономика, 1986. – 96 c. Available at: http://www.gostrf.com/normadata/1/4293854/4293854046.htm

147 Gutarevych, Yu. F., Zerkalov, D. V., Hovorun, A. H., Korpach, A. O., Merzhyievska, L. P. (2006). Екологія та автомобільний транспорт (Ekolohiia ta avtomobilnyi transport), К. – 2006. – 292 с.). Available at: https://library.kre.dp.ua/Books/2-4%20kurs/Основи%20екології/Гутаревич_Ю._Ф._Екологія_автомобільного_транспорту_2002%20.pdf

148 Klymenko, O. (2020). Results of research of the reduced emissions of pollutants by road vehicles of various environmental classes “Euro” as the basis of environmental hazard labeling». Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Issue 1/10(103), 42-52. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.196985

149 Klymenko, O., Sotsky, V., Shchelkunov, A., Kyrychenko, R., Ageev, V., Ustymenko, V., Gutarevych, Y. (2020). About the implementation of the national system of labelling of road vehicles regarding level of environment hazard, scientific and production journal «Автошляховик України», No. 1, 2-13. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-2-13

150 CPT Group GmbH. (2019) Worldwide Emission Standards and Related Regulations: Passenger Cars / Light and Medium Duty Vehicles. Available at: https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET 2019.pdf

151 Nesbit, M., Fergusson, M., Colsa, A., Ohlendorf, J., Haves, C., Paquel, K., Schweitzer, J-P. (2016) Comparative Study on the Differences between the EU and US Legislation on Emissions in the Automotive Sector. European Parliament Directorate-General for internal policies. Institute for European Environmental Policy. Available at: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL_STU(2016)587331_EN.pdf

152 Worldwide Emission Standards and Related Regulations: Passenger Cars / Light and Medium Duty Vehicles. 2019. https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET_2019.pdf

153 Worldwide Emission Standards: Passenger cars and light duty vehicles 2018/2019. Delphi Technologies. https://www.delphi.com/sites/default/files/2019-05/2019-2020%20Passenger%20Car%20&%20Light-Duty%20Vehicles.pdf

154 Emissions and Fuel Economy Legislation Summary: Passenger Cars & LCVs. Ricardo Energy & Environment, 2018.

155 Обеспечение экологической безопасности автотранспортных средств в период эксплуатации: вопросы нормирования и контроля [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/74/19.pdf.

156 Изменение экологической опасности автомобилей в процессе их эксплуатации. // Автомобильная промышленность. – 2005. – №7. – С. 11.

157 Пробег и экологическая безопасность автомобиля. // Автомобильная промышленность. – 2003. – №5. – С. 8.

158 Экономические и экологические аспекты вторичной переработки отслуживших автомобилей в Европе [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/81/7.pdf.

159 Методология проектирования автомобилей с учетом их последующей утилизации [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/72/34.pdf.

160 Выполнение современных требований по рециклингу и утилизации в конструкции и материалах автомобилей LADA [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/69/13.pdf.

161 Утилизация автомобильных масляных фильтров [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0061/art013.htm.

162 Авторециклинг: распределение сфер регулирования между техническим регламентом и федеральным законом по утилизации АТС [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0054/art014.htm.

163 Отходы автотранспортного предприятия и их утилизация [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0058/art014.htm.

164 Оценка эколого-экономического эффекта от утилизации автотранспортных средств [Електронний ресурс] // Журнал

Автомобильных Инженеров. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0056/art011.htm.

165 Рециклинг – инструмент повышения эффективности. // Автомобильная промышленность. – 2012. – №12. – С. 1.

166 Бобович, Б. Б. Утилизация автомобилей и автокомпонентов : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190201 "Автомобиле- и тракторостроение"] / Б. Б. Бобович. - Москва : Форум, 2016. - 167 с. : ил. - (Высшее образование)

167 Особенности и перспективы утилизации старых автомобилей в России и сравнение с европейской практикой технического регулирования [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/84/44.pdf.

168 Дизель в 2015 г. Требования и направления развития технологий дизелей для легковых и грузовых автомобилей. [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0051/art004.htm.

169 Проблемы сертификации по экологическим свойствам в свете скандала с VW [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/95/31.pdf.

170 Сравнение испытательных ездовых циклов при оценке эксплуатационного расхода топлива двигателями легковых автомобилей [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/f/96/42.pdf.

171 A 2015 update of official and “real-world” fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2015_Report_English.pdf.

172 REAL-WORLD FUEL CONSUMPTION AND CO2EMISSIONS OF NEW PASSENGER CARS IN EUROPE [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/sites/default/files/L2R17_ICCT-fact-sheet_EN_vF.pdf.

173 Urban off-cycle NOx emissions from Euro IV/V trucks and buses [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/publications/urban-cycle-nox-emissions-euro-ivv-trucks-and-buses.

174 Сопоставимость нормативов и методов испытаний, применяемых в США, Европе и Японии для оценки вредных выбросов грузовых автомобилей и автобусов [Електронний ресурс] // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.aae-press.ru/j0056/art005.htm.

175 Месарович М. Общая теория систем: Математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. – Москва: Издательство "Мир", 1978. – 311 с.

176 Ван Гиг Д. Прикладная общая теория систем. Том 1 / Дж. Ван Гиг. – Москва: Издательство "Мир", 1978. – 336 с.

177 Клиланд Д. Системный анализ и целевое управление / Д. Клиланд, В. Кинг. – Москва, 1974.

178 Основи системного аналізу. С.В. Швець, У.С. Швець. Суми, 2017. – 126 с.

179 Мороз А. И. Курс теории систем / А. И. Мороз. – Москва: Высшая школа, 1987. – 304 с.

180 Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – Москва: Издательство "Мир", 1973. – 344 с.

181 Тараканов К. В. Аналитические методы исследования систем / К. В. Тараканов, Л. А. Овчаров, А. Н. Тырышкин. – Москва: Советское радио, 1974. – 240 с.

182 Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. Построение морфологических матриц. - К.: Наукова думка. – 1977. – 183с.

183 Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука / Р. Шеннон. – Москва: Издательство "Мир", 1978. – 420 с.

184 Адомиан Д. Стохастические системы / Дж. Адомиан. – Москва: Издательство "Мир", 1987. – 376 с.

185 Андреев Н. И. Корреляционная теория статистически оптимальных систем / Н. И. Андреев. – Москва: Наука, 1966. – 456 с.

186 Н. В. Шаланов. Системный анализ. – НГИ, 2006. – 250 с.

187 Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.

188 Цветов Ю. М. Транспорт: системный подход (вопросы теории и практики) / Ю. М. Цветов. – Москва: Знание, 1980. – 62 с.

189 Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: Дис. ... докт. техн. наук: 05.04.02, 05.22.10. – Киев. – 1986.

190 Гутаревич Ю.Ф. Исследование токсичных выбросов автомобилей в эксплуатационных условиях. В кн.: Защита воздушного бассейна от загрязнения токсическими выбросами транспортных средств. Харьков, 1981, с. 162-163.

191 Гутаревич Ю.Ф. Влияние технического состояния и регулировок двигателей на токсичность автомобилей в эксплуатационных условиях. В кн.: Комплексное развитие автомобильного транспорта крупных городов на примере г. Москвы. М., 1981. с.230-232.

192 Гутаревич Ю.Ф. Комплексный подход к исследованию путей снижения вредных выбросов автомобилями в эксплуатационных условиях. В кн.: Повышение эффкективности использования автомобильного транспорта и автомобильных дорог в условиях жаркого климата и высокогорных районов. Ташкент, 1982, ч.2, с 169-170.

193 Гутаревич Ю.Ф. Исследование токсичных выбросов автомобилей в эксплуатационных условиях с учетом неустановившихся режимов работы двигателей. В кн.: Современный уровень и пути совершенствования экономических и экологических показателей двигателей внутреннего сгорания: в 2-х ч., Ворошиловград, 1983, ч.1, с. 80.

194 Матейчик В.П. Наукові основи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. М. Київ, 2004.

195 Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів. Монографія / В. П. Матейчик; Національний транспортний університет. – К. : 2006. –216 с.

196 Матейчик В.П. Система для дослідження впливу енергоустановки на економічні та екологічні показники дорожніх транспортних засобів // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів: зб. наук. пр., вип. 13. – Київ: НТУ, ТАУ. - 2002. - С. 83–88.

197 Матейчик В.П. Енергоустановка транспортного засобу: системний підхід до дослідження // Автошляховик України: окремий вип. -2002. - № 5.- С.33-35.

198 Матейчик В.П. Системные исследования энергоустановок дорожных транспортных средств // Труды Одесского политех. у-та. – 2002. - № 2(18). – С. 40-44.

199 Матейчик В.П. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів// Вісник НТУ“ХПІ” №7(т.2). – Харків, НТУ”ХПІ”. –2002. –С.162-167.

200 Матейчик В.П. Система для исследования дорожных транспортных средств // Тезисы докладов межнародной научно-технической конференции “Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных кадров”. -Москва, МГТУ “МАМИ”. - 2002. - С.60-61.

201 Матейчик В.П. Системные методы исследования энергоустановок транспортных средств// Тезисы докладов научно-технической конференции “Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса”. -Москва, МГТУ “МАДИ”. -2003. - С.31-33.

202 Матейчик В.П. Динамическая система для исследования влияния энергоустановки на показатели дорожного транспортного средства // Двигателестроение. – 2004. - № 1. – С.10-12.

203 Матейчик В.П. Структура проблеми і логічна організація вибору енергоустановки для дорожніх транспортних засобів // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів: Зб. Наук. Пр., спец. Вип. – Київ: НТУ, ТАУ. - 2002. - С. 112-115.

204 Матейчик В.П. Методи оцінки показників енергоустановок на різних етапах їх вибору для ДТЗ // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів: зб. Наук. Пр., вип. 14. – Київ: НТУ, ТАУ. - 2002. - С. 73-76.

205 Матейчик В.П. Формування цільових функцій вибору енергоустановки за критеріями екологічної безпеки // Вісник КДПУ. – Кременчук, КДПУ –2003. - №7. –с.125-128.

206 Матейчик В.П. Выбор энергоустановки для дорожного транспортного средства по критериям экологической безопасности//Автомобильный транспорт: сб. научн. тр., вып. 13. - Харьков, ХНАДУ. -2003. – С.238-240.

207 Матейчик В.П. Обґрунтування методології вибору енергоустановки для забезпечення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів// Управління якістю транспортних засобів і перевезень: зб. наукових праць. – Автошляховик України: окремий випуск. -2003. – С. 38-40.

208 Матейчик В.П. Оцінка екологічної безпеки енергоустановок дорожніх транспортних засобів// Materialy miedzynar. konf. “Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju systemow pojazdow samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych”. – Rzeczow. - 2003. - С.57-61.

209 Матейчик В.П. Оценка энергоустановок в системе ”Дорожное транспортное средство”// Матеріали 6-ї міжнародної науково-технічної конференції ”Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы».- Севастополь, СевНТУ. –2003. – С.193-197.

210 В.П Матейчик. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів. – Київ, НТУ, 2006. – 216 с.

211 Матейчик В. П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів / В. П. Матейчик, О. К. Грищук, М. П. Цюман. – Київ, 2014.

212 Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П., Четверухін Б.М. Системологія на транспорті: підручник (в 5 книгах). Під заг. ред. Дмитриченка М.Ф., Київ: Вища школа, 2004 р.

213 Говорущенко Н. Я. Системотехника проектирования транспортных машин / Н. Я. Говорущенко, А. М. Туренко. – Харьков: ХНАДУ, 2002.

214 Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта. / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. - Изд. 2-е, перераб. и подолн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.

215 Говорущенко Н. Я. Основы теории эксплуатации автомобилей / Н. Я. Говорущенко. – Харьков: Вища школа, 1984. – 312 с.

216 Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Н. Я. Говорущенко. – Харьков: Вища школа, 1984. – 312 с.

217 Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта / Учебное пособие. Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. - Харьков: ХГАДТУ, 2001. - 271 с.

218 Говорущенко Н. Я. Основы управления автомобильным транспортом / Н. Я. Говорущенко. – Харьков: Вища школа, 1978. – 224 с.

219 Говорущенко, Н. Я. Экономическая кибернетика транспорта [Текст] : учеб. пособие для студ. автомобильно-дорожных вузов и фак. / Н. Я. Говорущенко, В. Н. Варфоломеев ; Харьковский гос. автомобильно-дорожный технический ун-т. - Х. : [б.и.], 2000. - 218 с

220 Интеллектуальные системы управления работоспособностью автомобилей / В. П.Волков, В. П. Матейчик, И. В. Грицук, Ю. В. Волков. – Харьков, 2016.

221 Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных задач. – М.: Советское радио. – 1969. – 216с.

222 Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды / Р. Пэнтл. – Москва: Издательство "Мир", 1979. – 215 с.

223 Островцев А.Н. Основные принципы построения общей теории надежности // Автомобильная промышленность. – 1971. - №11. – С. 18-22.

224 Безбородова Г. Б. Моделирование движения автомобиля / Г. Б. Безбородова, В. Г. Галушко. – Киев: Вища школа, 1978. – 168 с.

225 Аксенов П.В. О системном подходе в прикладной науке по автомобилю. - Автомобильная промышленность, 1975, №9, с28-30

226 Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов. – Киев: Арістей, 2006. – 296 с.

227 Луканин В. Н. Промышленно-транспортная экология / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – Москва: Высшая школа, 2001. – 273 с.

228 Біліченко В.В. Наукові основи стратегій розвитку виробничих систем автомобільного транспорту: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20 / Біліченко Віктор Вікторович; Національний транспортний університет. - Київ, 2013. - 40 с.

229 Сараєв О.В. Метод оцінки ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.02 / Сараєв Олексій Вікторович; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. - Харків, 2016. - 44 с.

230 Терехов А.С. Системный подход к исследованию температурного режима агрегатов трансмиссии // Автомобильная промышленность. - 1979. - №8. - С. 21-23.

231 Сахно В. П. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 частинах. Частина 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів / В. П. Сахно. – Донецьк, 2014. – 444 с.

232 Солтус А. П. Теория эксплуатационных свойств автомобиля: Учебное пособие для вузов / А. П. Солтус. – Кременчуг, 2003. – 152 с.

233 Криштопа С.І. Розвиток наукових основ підвищення знософрикційних властивостей гальм нафтогазового обладнання та технологічного транспорту [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.12 / Криштопа Святослав Ігорович ; Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2016. - 40 с.

234 Гащук П. Энергопреобразующие системы автомобиля / Петро Гащук. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 272 с.

235 Говорущенко М.Я. Туренко А.Н. Системотехника проектирования транспортных машин. – Харьков: ХНАДУ, 2002. – 165 с.

236 Рудзинский В.В. Теоретические основы оценки эффективности грузовых автомобилей для сельского хозяйства и обоснование параметров их конструкции: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03, 05.22.10. – К: КАДИ, 1990. – 42 с.

237 Аксенов П.В. О системном подходе в прикладной науке по автомобилю. // Автомобильная промышленность. - 1975. - №9. - С. 28-30.

238 Кузнецов Е.С.Управление техническими системами: учебное пособие.- М.: МАДИ. – 1997. – 127 с.

239 Левковець П.Р. Теоретичні основи програмованої експлуатації автомобілів: Дис. … д-ра техн. наук.: 05.22.10. – К.: КАДІ, 1994. – 320 с.

240 Рябчинский А.И. Методология системного подхода в исследованиях вопросов обеспечения пассивной безопасности, АП, 1977, №5, с14-15

241 Иванов В.Н., Ерохов В.И. Новый подход к проблеме совершенствования транспортной системы. В кн.: Комплексное развитие автомобильного транспорта крупных городов на примере г. Москвы. М., 1981. с.56-58.

242 Котиков Ю.Г. Разработка методологии системного анализа и имитационного моделирования объектов автомобильной техники и транспорта: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03, 05.22.10. – Спб.: СПГАСУ. - 1995. – 46 с.

243 Маяк Н.М. Топливная экономичность автомобилей в сложных условиях движения. –К.: “Вища школа”. – 1990. – 215с.

244 Крузе А.О. Анализ системы "Городской транспорт - городская среда". В кн.: Комплексное развитие автомобильного транспорта крупных городов на примере г. Москвы. М., 1981. с.221-222.

245 Запорожець О. І. Транспортна екологія / О. І. Запорожець. – Київ: Центр навчальної літератури, 2007. – 508 с.

246 Балацкий О.Ф. Экономика и качество окружающей природной среды / О. Ф. Балацкий, Л. Г. Мельник, А. Ф. Яковлев. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 190 с.

247 Балацкий О.Ф. Экономика чистого воздуха.- К.: Наукова думка, 1979.- 295 с.- (Человек и среда)

248 Охрана окружающей среды (модели управления чистотой природной среды) / под ред. К. Г. Гофмана, А. А. Гусева. - М. : Экономика, 1977. - 231 с.

249 ред. Овсиенко Ю. В. Экономика чистого воздуха / Ю. В. ред. Овсиенко. – Москва, 1982.

250 Трофименко Ю.В. Теория экологических характеристик автомобильных енергоустановок: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.04.02 , 05.22.10. - М.:МАДИ. - 1996. – 43 с.

251 Луканин В.М., Трофименко Ю.В., Ефремов А.В. Постановка оптимизационных задач в системе «Автотранспортный комплекс - окружающая среда» //Транспорт: наука, техника, управление. Сборник обзорной информации. - 1993. - № 5. - С. 5-12.

252 Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Экологические воздействия автомобильных двигателей на окружающую среду // Итоги науки и техники. ВИНИТИ. Сер. Автомобильный и городской транспорт. – 1993. – 136с.

253 Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта//ВИНИТИ. Итоги науки и техники. Сер. Автомобильный и городской транспорт. – Москва. – 1996. – 339 с.

254 Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Методика оценки уровня экологической безопасности автотранспортных средств. //

Совершенствование автомобильных и тракторных двигателей. – М.: МАДИ, 1992. – С.9-17.

255 Иванов В.Н., Ерохов В.И. Экономия топлива на автомобильном транспорте. - М.: Транспорт, 1984. - 302 с.

256 Крузе А.О. Анализ системы «Гордской транспорт – городская среда». // Комплексное развитие автомобильного транспорта крупных городов на примере г. Москвы. - М., 1981. - С. 221-222.

257 Максимов В.А. Научные основы повышения эффективности использования городских автобусов средствами инженерно-технической службы: Дис. … д-ра техн. наук.: 05.22.10. – М.: МАДИ, 1994. – 320 с.

258 Серов А.В. Актуальне проблемы развития диагностики в системе управления техническим состоянием машин, эффективностью и качеством их работы. // Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной научной конференция по диагностике и прогнозированию технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта. - Харьков. - 1980. - С. 24-26.

259 Скалкин Ф. В. Энергетика и окружающая среда /Ф. В. Скалкин, А. А. Канаев, И. 3. Копп. - Л.: Энергоиздат: Ленингр. отд-ние, 1981. - 280 с

260 Каніло П.М., Бей І.С., Ровенський О.І. Автомобіль та навколишнє середовище. – Х.: Прапор. - 2000. – 304 с.

261 Клименко А.А. Определение условий и сфер рационального замещения бензина сжатым природным газом при эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев, 1998.

262 Кутенев В.Ф., Кисуленко Б.В., Шюте Ю.В. «Экологическая безопасность автомобилей с двигателями внутреннего сгорания». М. Экология, Машиностроение,2009 г.,253 с.

263 Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений / Р. Кини. – Москва, 1983. – 320 с.

264 Хачатуров (ред) А. А. Динамика системы дорога - шина - автомобиль - водитель / А. А. Хачатуров (ред). – Москва: Машиностроение, 1976. – 535 с.

265 Хачатуров, А.А. Расчет эксплуатационных параметров движения автомобиля и автопоезда / А.А. Хачатуров и др. –М.: Транспорт, 1982. –264 с.

266 Автотранспортые потоки и окреужающая среда / В. Н.Луканин, А. П. Буслаев, Ю. В. Трофименко, М. В. Яшина. – Москва: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.

267 Петров В. А. Системная оценка эффективности новой техники / В. А. Петров, Г. И. Медведев. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 256 с.

268 Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут. – Киев: Вища школа, 1986. – 447 с.

269 Терешко С. И. Системный подход к повышению качества автомобильного транспортного процесса / С. И. Терешко. – Минск: Наука и техника, 1988. – 159 с.

270 Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. Ч.I.Местность. Ч.II.Машина. Пер.с англ.Гуськова В.В. М. Машиностроение. 1973г. 520с.

271 Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 368 с. — ISBN 5-279-02435-X.

272 Popp K. Ground Vehicle Dynamics / K. Popp, W. Schliehlen., 2010. – 366 c.

273 Jazar R. Vehicle Dynamics: Theory and Application / R. N. Jazar., 2017. – 992 c.

274 Rajamani R. Vehicle Dynamics and Control / Rajesh Rajamani., 2012. – 512 c.

275 Galip Ulsoy A. Automotive Control Systems / A. Galip Ulsoy, H. Peng, M. Cakmakci., 2012. – 406 c.

276 Liu W. Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control / W. Liu. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 429 c.

277 Schramm D. Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation / D. Schramm., 2014. – 405 c.

278 Rill G. Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling / G. Rill., 2012. – 331 c.

279 Genta G. Motor Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation / G. Genta. – Singapore: World Scientific Publishing, 2006. – 539 c.

280 Balkwill J. Performance Vehicle Dynamics: Engineering and Applications / J. Balkwill., 2018. – 351 c.

281 Blundell M. The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics / M. Blundell, D. Harty., 2015. – 756 c. – (2 edition).

282 Pacejka H. Tire and Vehicle Dynamics / H. Pacejka., 2012. – 629 c. – (3rd Edition).

283 Vehicle Dynamics Estimation using Kalman Filtering: Experimental Validation / M.Doumiati, A. Charara, A. Victorino, D. Lechner., 2013. – 239 c.

284 Genta G. Road Vehicle Dynamics: Fundamentals of Modeling and Simulation / G. Genta, A. Genta., 2017. – 983 c.

285 Schiehlen (ed.) W. Dynamical Analysis of Vehicle Systems for Train / Werner Schiehlen (ed.)., 2009. – 311 c.

286 Guiggiani M. The Science of Vehicle Dynamics: Handling, Braking, and Ride of Road and Race Cars / M. Guiggiani., 2014. – 356 c.

287 Andrzejewski R. Nonlinear Dynamics of a Wheeled Vehicle / R. Andrzejewski, J. Awrejcewicz., 2005. – 326 c.

288 Ehsani M. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design / M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi., 2010. – 557 с. – (Second edition).

289 Miller J. Propulsion Systems for Hybrid Vehicles / J. Miller., 2010. – 610 с. – (2nd Edition).

290 Doncker R. Advanced Electrical Drives: Analysis, Modeling, Control / R. Doncker, D. Pulle, A. Veltman., 2011. – 474 с.

291 Soylu (ed.) S. Electric Vehicles - Modelling and Simulations / S. Soylu (ed.)., 2011. – 466 с.

292 Богданов К. Л. Тяговый электропривод автомобиля / К. Л. Богданов. – Москва: МАДИ, 2009. – 57 с.

293 Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application / H.Naunheimer, B. Bertsche, J. Ryborz, W. Novak., 2011. – 742 с.

294 Crolla D. Vehicle Powertrain Systems / D. Crolla, B. Mashadi., 2012. – 560 с.

295 Andreev A. F. Driveline Systems of Ground Vehicles: Theory and Design / A. F. Andreev, V. Kabanau, V. Vantsevich., 2010. – 758 с.

296 Fischer R. The Automotive Transmission Book / R. Fischer, F. Küçükay., 2015. – 355 с.

297 Heißing B. Chassis Handbook / B. Heißing, M. Ersoy., 2011. – 591 с.

298 Schramm D. Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation / D. Schramm., 2014. – 405 с.

299 Genta G. Motor Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation / G. Genta., 2006. – 539 с.

300 Anderson C. Electric and Hybrid Cars: a History / C. Anderson, J. Anderson., 2010. – 261 с.

301 Guzzella L. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization / L. Guzzella, A. Sciarretta., 2007. – 338 с.

301 Guzzella L. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization / L. Guzzella, A. Sciarretta., 2013. – 276 с.

303 Hayes J. Electric Powertrain: Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles / J. Hayes, G. Goodarzi., 2018. – 557 с.

304 Hodkinson R. Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design / R. Hodkinson, J. Fenton., 2001. – 280 с.

305 Husain I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals / I. Husain., 2005. – 288 с.

306 Nerad J. The Complete Idiot's Guide to Hybrid and Alternative Fuel Vehicles / J.R. Nerad., 2007. – 207 с.

307 Van Wijk A. Our Car as Power Plant / A.J.M. Van Wijk., 2014. – 107 с.

308 Varga B. Electric and Plug-In Hybrid Vehicles: Advanced Simulation Methodologies / B. Varga, F. Mariasiu., 2015. – 524 с.

309 Nikowitz (ed.) M. Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration / M. Nikowitz (ed.)., 2016. – 211 с.

310 Conley J. Car Troubles: Critical Studies of Automobility and Auto-Mobility / J. Conley, A. McLaren., 2009. – 258 с.

311 Jármai K. Vehicle and Automotive Engineering / K. Jármai, B. Bolló., 2017. – 484 с.

312 Chow J. Informed Urban Transport Systems: Classic and Emerging Applied Sciences in a Smart Cities Era / J. Chow., 2018. – 473 с.

313 Nieuwenhuis P. The Automotive Industry and the Environment / P. Nieuwenhuis, P. Wells., 2003. – 272 с.

314 Gruden D. (ed.) Traffic and Environment. The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 3, Part T (2003): 1–13 DOI 10.1007/b11990**HAPTER**

315 Гуськов А. А. Экологическая безопасность на транспорте / А. А. Гуськов, Н. Ю. Залукаева, В. С. Горюшинский. – Тамбов, 2018. – 100 с.

316 Faiz A. Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions / A. Faiz, C. Weaver, M. Walsh. – Washington, D.C., 1996. – 266 с.

317 Harrison R. Environmental Impacts of Road Vehicles: Past, Present and Future / R. Harrison, R. Hester., 2017. – 264 с.

318 Gkikas (ed.) N. Automotive Ergonomics: Driver-Vehicle Interaction / N. Gkikas (ed.)., 2013. – 171 с.

319 Bhise V. Ergonomics in the Automotive Design Process / Vivek D. Bhise., 2012. – 329 с.

320 Зигель, Артур Модели группового поведения в системе человек-машина с учетом психосоциальных и производственных факторов / А. Зигель, Дж. Дж. Вольф. - Москва : Мир, 1973. - 261 с.

321 De Sousa J. Computer-based Modelling and Optimization in Transportation / J. De Sousa, R. Rossi., 2014. – 489 с.

322 Folęga P. Environmental assessment of road transport in a passenger car using the life cycle approach [Електронний ресурс] / P. Folęga, D. Burchart-Korol // Transport problems. – 2017.

323 Rahman, M. H., Chin, H. C. and Haque, M. M. "Sustainability in road transport: an integrated life cycle analysis for estimating emissions", International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE) – The State of the Art, Kandy, Sri Lanka, 2010.

324 Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA [Електронний ресурс] // Ricardo Energy and Environment. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/2020_study_main_report_en.pdf.

325 Environmental impact of alternative fuels and vehicle technologies: A Life Cycle Assessment perspective [Електронний ресурс] / M.Mohammadi

Ashnani, T. Miremadi, A. Johari, A. Danekar // Elsevier. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://core.ac.uk/download/pdf/82398445.pdf.

326 Fet, A. M., Michelsen, O., Johnsen, T., Sørgård, E., "Environmental performance of transport –A comparative study." Norwegian University of Science and Technology – IOT, NTNU, Norway, 2000.

327 REIJNDERS L. ENVIRONMENTAL EVALUATION OF MEANS OF TRANSPORT [Електронний ресурс] / Lucas REIJNDERS // IBED, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands. – 2000. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60013-3.

328 Integrated Life Cycle Economic and Environmental Impact Assessment for Transportation Infrastructure: A Review [Електронний ресурс] / J.Liu, H. Li, Y. Wang, N. Ge. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.intechopen.com/books/transportation-systems-analysis-and-assessment/integrated-life-cycle-economic-and-environmental-impact-assessment-for-transportation-infrastructure.

329 Kalluri S. Comparative Life Cycle Assessment of Road and Multimodal Transportation Options - A Case Study of Copperwood Project Transportation Options - A Case Study of Copperwood Project [Електронний ресурс] / Sumanth Kalluri // Michigan Technological University. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1179&context=etdr.

330 Chester M. V. Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States / Mikhail V. Chester // nstitute of Transportation Studies, Berkeley. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: https://escholarship.org/content/qt7n29n303/qt7n29n303.pdf?t=krnoyq.

331 Miliutenko S. Consideration of life cycle energy use and greenhouse gas emissions for improved road infrastructure planning [Електронний ресурс] / Sofiia Miliutenko // KTH Royal Institute of Technology. – 2016. – Режим

доступу до ресурсу: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:915227/FULLTEXT01.pdf.

332 Essen H. The Environmental Impacts of Increased International Road and Rail Freight Transport / Huib van Essen // CE Delft, Delft, the Netherlands. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/41380980.pdf.

333 Koroma M. Estimating the Potential Life Cycle Environmental Impacts of Current and Future Electric Passenger Cars [Електронний ресурс] / MICHAEL SAMSU KOROMA // KTH, the Royal Institute of Technology. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1218691/FULLTEXT01.pdf.

334 Helmers E. Advances and critical aspects in the life-cycle assessment of battery electric cars [Електронний ресурс] / E. Helmers, M. Weiss. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.2147/EECT.S60408.

335 Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions [Електронний ресурс] // The International Council on Clean Transportation. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf.

336 Cleaner Cars from Cradle to Grave How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions [Електронний ресурс] // Union of concerned scientists. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ucsusa.org/resources/cleaner-cars-cradle-grave.

337 The Lifecycle Impact of Electric Vehicles [Електронний ресурс] // Triple Pundit. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://www.triplepundit.com/story/2016/lifecycle-impact-electric-vehicles/21776.

338 Messagie M. Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles [Електронний ресурс] / Maarten Messagie // Vrije Universiteit Brussel -

research group MOBI. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/TE%20-%20draft%20report%20v04.pdf.

339 «Environmental Management and Auditing System» (EMAS). https://go.cority.com/environmental-management

340 Клименко О.А. Щодо теоретико-методологічних основ системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням довкілля дорожнім транспортом // Автошляховик України, 2020, № 4 (С2-9).

341 Звіт «Support to the government of Ukraine on updating its nationally determined contribution (NDC)» Інститут економіки і прогнозування НАН України.

342 Комплексный анализ эффективности использования природного газа на автомобильном транспорте. Гутаревич Ю.Ф., Рубцов В.А., Устименко В.С., Клименко А.А. Автошляховик України. Окремий випуск № 1. Жовтень 2000р. Збірник. Проблеми автомобільного транспорту. Стр. 41-43.

343 Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Клименко О.А., Устименко В.С., До питання оптимізації структури енергозабезпечення автомобільного транспорту та деякі результати на прикладі визначення умов і сфер раціонального заміщення бензину стисненим природним газом. Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України. – К., 2002. – Випуск 6. С. 59-66.

344 Гутаревич Ю.Ф., Редзюк А.М., Устименко В.С., Ковальов С.О., Клименко О.А. Природний газ: механізм розширення використання на автомобільному транспорті. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України випуск 4 Травень 2001 р. стр. 9-11.

345 Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Створення випробувального центру визначення відповідності

автомобільних транспортних засобів, двигунів і систем нейтралізації відпрацьованих газів екологічним вимогам державних і міжнародних стандартів. Етап перший. Автошляховик України, 2005, № 4. С. 23-24

346 Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А. Створення випробувального центру визначення відповідності колісних транспортних засобів, двигунів і систем нейтралізації відпрацьованих газів екологічним вимогам державних і міжнародних стандартів. Автошляховик України, збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми автомобільного транспорту», 2005р., С. 9-11

347 Створення Національного науково-дослідного випробувального центру перспективних технологій автомобільного транспорту – презентаційний матеріал ДП «ДержавтотрансНДІпроект» / Перевізник UA, 2016 р. № 12 с.18-21., № 13, с.18-21.

348 Клименко О.А. Серія заміток “Відкриваємо Америку. Національний інститут стандартів і технологій США (NIST). Автошляховик України, 2004, № 4, С. 25

349 Клименко А.А., Кудренко А.В. Результаты разработки частично-поточной системы с расширенным динамическим диапазоном для определения выбросов частиц современными двигателями // Журнал Автомобильных Инженеров №1(60) 2010. с. 12-16

350 Клименко О.А., Кудренко О.В. Частково-потокова система з розширеним динамічним діапазоном для визначення викидів часток двигунами // Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. №1 (62) 2010.- с.33-37.

351 Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Кудренко О.В. Розроблення сучасної вітчизняної частково-потокової системи з розширеним динамічним діапазоном для визначення масових викидів

частинок двигунами // Збірник Транспортної академії України, №13, 2010. с. 46-50.

352 «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потокових системах визначення викидів частинок з автокалібруванням за складом відпрацьованих газів». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на винахід № 120492. Патент опубліковано 10.12.2019, бюлетень № 23/2019.

353 «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів транспортних засобів в частково-потокових системах визначення викидів частинок». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135786. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

354 «Спосіб частково-потокового визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135788. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

355 Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів. Редзюк А.М., Клименко О.А., Кудренко О.В. Автошляховик України, № 4, 2012. с. 2–7.

356 Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів. Клименко О.А., Редзюк А.М., Кудренко О.В., Ричок С.О., Гора М.Д. Автошляховик України.-2012.-№ 5.-С.2-8.

357 «Система необмеженого розподілу проб відпрацьованих газів у часі забезпеченням одночасного виконання операцій відбору проб в еластичні ємності, проведення їх газового аналізу, вакуумуванням та продувки ємностей». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С., Гора М.Д., Бондар О.В., Колобов К.С. Патент на корисну модель № 136768. Бюлетень № 16 від 27.08.2019.

358 O. Klymenko (2020). Dynamic variable volume sampling method for determining mass emissions of polluting substances with exhaust gases. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Issue 3/10(105) 2020, 38-47. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.206679 (журнал індексовано у Scopus)

359 «Спосіб визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на винахід № 120491. Патент опубліковано 10.12.2019, бюлетень № 23/2019.

360 «Спосіб повнопотокового відбору проб змінного об’єму для визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів колісних транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С., Гора М.Д., Ричок С.О., Сіянко Ю.В. Патент на корисну модель № 135775. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

361 Спосіб повнопотокового відбору проб змінного об’єму з вимірюванням дійсного коефіцієнту розбавлення для визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів колісних транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135777. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

362 «Спосіб повно-потокового відбору проб змінного об’єму з динамічним автокалібруванням та вимірюванням дійсного коефіцієнта розбавлення для визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів колісних транспортних засобів». Клименко О.А., Редзюк А.М. Патент на корисну модель № 135778. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

363 «Спосіб частково-потокового визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів з вимірюванням фактичного коефіцієнта розділення потоку».

Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на винахід № 120905. Патент опубліковано 25.02.2020, бюлетень № 4/2020.

364 «Спосіб частково-потокового визначення масових викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами двигунів транспортних засобів з вимірюванням фактичного коефіцієнту розділення потоку». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на корисну модель № 135789. Бюлетень № 13 від 10.07.2019.

365 «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потокових системах визначення викидів частинок з автокалібруванням за складом відпрацьованих газів». Клименко О.А., Редзюк А.М., Устименко В.С. Патент на корисну модель № 136772. Бюлетень № 16 від 27.08.2019.

366 «Спосіб підготовки проби частинок, відібраних з газового середовища, для електронної мікроскопії». Редзюк А.М., Дмитриченко М.Ф., Гутаревич Ю.Ф., Клименко О.А., Агеєв В.Б., Устименко В.С. Патент на винахід № 122308. Зареєстровано 12.10.2020.

367 «Спосіб відбору та підготовки проби частинок з газового середовища для електронної мікроскопії». Редзюк А.М., Дмитриченко М.Ф., Гутаревич Ю.Ф., Клименко О.А., Агеєв В.Б., Устименко В.С. Патент на корисну модель № 136787. Бюлетень № 16 від 27.08.2019.

368 Введення постійних норм витрат палива на автомобілі DAEWOO LANOS, NUBIRA, LEGANZA В.С.Устименко, О.А.Клименко. Автошляховик України, 2003, №1, с.15-20.

369 Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Алгоритм компенсації гістерезису в системах вимірювання (на прикладі тракту вимірювання зусилля роликового стенду для випробувань автомобілів // Автошляховик України. Окр. вип. Збірн. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. «Управління безпекою на автомобільному транспорті».-2004.-С.125-126

370 Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Новий метод компенсації гістерезису в засобах вимірювальної техніки. Автошляховик України, збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми автомобільного транспорту», 2005р., С. 42-43.

371 Клименко О.А., к.т.н., Устименко В.С., Чиж С.М., Кудренко О.В., Сафронов А.М. Алгоритм компенсації гістерезиса в системах вимірювання. Журнал «Метрологія та прилади», 2006, № 2, стр. 32-35

372 Оцінка екологічних показників автомобілів при живленні бензином та зрідженим нафтовим газом (ЗНГ) в експлуатаційних умовах. Гутаревич Юрій, Клименко Олексій, Манько Іван // Systems and means of motor transport. Selected problems. Seria Transport. Rzeszow, 2012. С. 81-86.

373 Вплив високооктанової кисневмісної добавки до бензину на паливну економічність та екологічні показники автомобілів // А.М.Редзюк, В.С.Устименко, Ю.Ф.Гутаревич, О.А.Клименко // Автошляховик України, Окремий випуск №6, Вісник північного наукового центру, 2003, С. 34-35.

374 Манько І.В., Клименко О.А., Симоненко Р.В., Кудренко О.В. Вплив виду палива на його витрату при русі автомобіля за європейським міським їздовим циклом. Вісник Національного транспортного університету, - К.: НТУ, 2012. – Випуск 25, С. 259 – 262.

375 Вплив типу системи живлення на паливно-економічні показники автомобіля при русі за європейським міським їздовим циклом. Славін В.В., Клименко О.А., Гора М.Д., Ричок С.О. Вісник Національного транспортного університету, - К.: НТУ, 2012. – Випуск 25, С. 248 – 251.

376 Говорун А.Г., Клименко О.А., Куций П.В. Результати дорожніх випробувань колісного транспортного засобу з універсальним регулятором частоти обертання колінчастого валу дизеля // Автошляховик України 2014, №6, С. 2-5.

377 Результати випробування автомобіля на роликовому моделюючому стенді за європейським їздовим циклом за роботи двигуна на штатному та сумішевих біодизельних паливах // Говорун А.Г., Клименко О.А., Павловський М.В. Автошляховик України: № 6, 2011, с. 3-6

378 Говорун А.Г., Клименко О.А., Симоненко Р.В., Назаренко М.Б., Шиманський С.І. Особливості показників автомобільного двигуна у процесі роботи в несталих режимах на стисненому природному газі. Автошляховик України. Окремий випуск. 2017.- № 1-2(249-250).- С.41-44.

379 Редзюк А.М., Клименко О.А. Щодо стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом. Автошляховик України, 2018, № 4(256), С. 2-11.

380 Alexey Klimenko, Nikolas Hill, Elisabeth Windisch. Approaches to regulation of CO2 emission and energy consumption indicators of new light duty vehicles in Ukraine. Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник – К., 2019. – Випуск №1(43). С. 66-75.

381 Ben Sharpe, Rachel Muncrief. Literature review: real-world fuel consumption of heavy-duty vehicles in the United States, China and the European Union. Washington / International Council on Clean Transportation / 1225 I Street NW, Suite 900, Washington DC 20005 USA. – 2015. – 30 pages. http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_HDV_FC_lit-review_20150209.pdf

382 Peter Mock. 2020-2030 CO_2 standards for new cars and light-commercial vehicles in the European Union. Washington / International Council on Clean Transportation / 1225 I Street NW, Suite 900, Washington DC 20005 USA. – 2015. – 24 pages.https://www.theicct.org/publications/2020-2030-co2-standards-eu-cars-lcvs-20171026

383 Regulation (EC) No 1153/2017 setting out a methodology for determining the correlation parameters necessary for reflecting the change in the regulatory test procedure and amending Regulation (EU) No 1014/2010.

384 Regulation (EC) No 1152/2017 setting out a methodology for determining the correlation parameters necessary for reflecting the change in the regulatory test procedure with regard to light commercial vehicles and amending Implementing Regulation (EU) No 293/2012.

385 B. Ciuffo, G. Fontaras. Models and scientific tools for regulatory purposes: The case of CO2 emissions from light duty vehicles in Europe / ELSEVIER / Energy Policy 109 (2017) 76–81. www.elsevier.com/locate/enpol

386 Europe accelerates the transition to clean mobility: Co-legislators agree on strong rules for the modernisation of the mobility sector. DG Climate Action news release on 18/12/2018. https://ec.europa.eu/clima/news/europe-accelerates-transition-clean-mobility-co-legislators-agree-strong-rules-modernisation_en

387 2017/2018 Worldwide Emission Standards - Passenger Cars and Light Duty / Delphi / 5725 Delphi Drive, Troy, Michigan 48098-2815, USA. – 2018. – 118 pages.

388 The Chinese Automotive Fuel Economy Policy (February 2015 Update) / The Global Fuel Economy Initiative (GFEI) / 60 Trafalgar Square, London, WC2N 5DS, United Kingdom. – 2015. – 24 pages. https://www.globalfueleconomy.org/transport/gfei/autotool/case_studies/apacific/china/CHINA%20CASE%20STUDY.pdf

389 Feng An, Deborah Gordon, Hui He, Drew Kodjak, Daniel Rutherford. Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standards: A Global Update / The International Council on Clean Transportation, July 2007 / 1225 I St., Suite 1000, NW, Washington, DC 20005, USA. – 2007. – 36 pages. https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/PV_standards_2007.pdf

390 Peter Mock, John German, Anup Bandivadekar, Iddo Riemersma, Norbert Ligterink, Udo Lambrecht. From laboratory to road. A comparison of official and 'real-world' fuel consumption and CO2 values for cars in Europe and the United States / International Council on Clean Transportation / 1225 I Street NW Suite 900, Washington DC 20005, USA. – 2013. – 88 pages. https://www.theicct.org/publications/laboratory-road

391 Klymenko O. The concept of unified system of road vehicles environmental labelling // Автомобільний транспорт, вип. 47, 2020 (c69-83).

392 Klymenko O (2020). The concept for an implementation of state policy in the field of labeling and regulation of essential environmental properties of wheeled vehicles // Technology audit and production reserves. No. 5/2(55), 2020 (p33-37).

393 Клименко О.А., Соцький В.С., Щелкунов А.В., Кириченко Р.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Гутаревич Ю.Ф. Щодо впровадження національної системи маркування рівня екологічної небезпеки дорожніх транспортних засобів. Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт) № 1 (261), 2020. (С. 2-11).

394 O. Klymenko, V. Gorytski, U. Gutarevych, A. Shchelkunov, R. Kyrychenko (2020). Requirements for a unified system of road vehicles environmental labelling and low emission zones. Eastern-European journal of enterprise technologies, Issue 6/10(108), pp. 53–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217543 (журнал індексовано у Scopus).

395 Alexey Klimenko (2020). Aggregated toxicity of road vehicles as basis for future regulation in the field of atmospheric air protection. SN Applied Sciences (2020) 2:2050 | https://doi.org/10.1007/s42452-020-03874-w (журнал видавництва Springer Nature, індексовано у Web of Science).

396 O. Klymenko (2020). Results of research of the reduced emissions of pollutants by road vehicles of various environmental classes "Euro" as the basis of environmental hazard labeling. Eastern-European journal of

enterprise technologies, Issue 1/10(103) 2020, pages 42-52. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.196985 (журнал індексовано у Scopus).

397 О.А.Клименко, В.С.Устименко, К.С.Колобов, С.О.Ричок, М.Д.Гора, Н.О.Науменко. Аналіз результатів досліджень викидів забруднювальних речовин легковими автомобілями, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США. «Автошляховик України», 2019, № 1 (257). - с. 2-11.

398 O. Klymenko, V. Ustymenko, K. Kolobov, S. Rychok, M. Gora, N. Naumenko. Analysis of Emissions in the European Driving Cycle of Used Light-Duty Vehicles Imported to Europe from North America. SAE International Journal of Sustainable Transportation, Energy, Environment, & Policy, Issue 1 (1), Pages 1-20, 2019, DOI: 10.4271/13-01-01-0001.

399 Worldwide Emission Standards and Related Regulations: Passenger Cars/Light and Medium Duty Vehicles, May 2019. – 210 pages. https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET_2019.pdf

400 ACEA Tax Guide 2019. – 348 pages. https://www.acea.be/uploads/news_documents/ACEA_Tax_ Guide_2019.pdf

401 Zifei Yang. Overview of Global Fuel Economy Policies. 2018 APCAP Joint Forum and Clean Air Week. ICCT. https://theicct.org/sites/default/files/Global-Fuel-Economy-Policies-Overview_ICCT_ ZYang_20032018.pdf

402 Dr. Francisco Posada. Fuel Economy Policy Options and Target Setting. Africa Clean Mobility Week 2018. ICCT. http://wedocs.unep.org/bitstream/id/5f1fedd9-79d0-4cab-bc32-7ccd9c48c030/ FranciscoPosada_ICCT_Fuel %20Economy_20180312.pdf

403 Zifei Yang. Vehicle Fuel Economy Standards and Feebate System. ACEEE International Symposium on Energy Efficiency Washington DC, June 26,

2018. https://aceee.org/sites/default/files/pdf/conferences/intl/2018/Yang.pdf

404 Low Emission Zones. ACEA Position Pape, May 2015. – 7 pages. https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_LEZ_Position_May_2015.pdf

405 Astrid H. Amundsen, Ingrid Sundvor. Low Emission Zones in Europe Requirements, enforcement and air quality. TØI report 1666/2018. – 88 pages. https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=49204

406 Avaluation de la zone de basses emissions rapport 2018. https://www.lez.brussels/medias/rapp-2018-lez-fr-def-2019-12-04.pdf

407 Донченко В.В., Кунин Ю.И., Вайсблюм М.Е., Гусаров А.П., Семенихин А.Н., Сазонова Г.М. Перспективы внедрения в Российской Федерации системы «Эко-маркировки» вновь регистрируемых и эксплуатируемых автотранспортных средств: Проект ПРООН/ГЭФ-Минтранс России 00080462 «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России» М.: 2016. с. 230.

408 Expected effects from the low emission zone on car fleet and air quality in the Brussels region. 2019. https://lez.brussels/medias/lez-note-en-vdef.pdf

409 Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г., Корпач А. О., Мержиєвська Л. П. Екологія та автомобільний транспорт, К. – 2006. – 292 с.

410 EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Road transport: Exhaust emissions Update Jul. 2018. – 134 pages.

411 EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Road transport: Automobile tyre and brake wear, Automobile road abrasion. – 32 pages.

412 ГН 2.1.6.695-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

413 ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений».

414 ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

415 ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением № 1)»

416 «Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», затверджені в 2015 р. т.в.о. головного державного санітарного лікаря України С.В. Протасом. – 19 с.

417 ДСП-201-97 «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)», затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9 липня 1997 р. № 201.

418 Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні безпечні рівні діяння (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. Підготовлено Управлінням атмосферного повітря Мінекоресурсів України (головний спеціаліст Трофименко Н.С.), Українським науковим центром технічної екології (співробітники лабораторії № 13), Головним санітарно-епідеміологічним Управлінням Міністерства охорони здоров’я України (головний спеціаліст Карпенко Т.Ф.), Комітетом з питань гігієнічної регламентації МОЗ України (Горбань Л.М.) та Українським науковим гігієнічним центром (зав. лабораторією гігієни атмосферного повітря д.м.н. Присяжнюк В.Є., н.с. Федоришин О.П.). 2017. – с. 42.

419 P.G. Boulter. (2009). Emission factors 2009: Report 6 – deterioration factors and other modeling assumptions for road vehicles. Published Project Report PPR359. TLR Limited.

420 Jens Borken-Kleefeld, Yuche Chen. (2015). New emission deterioration rates for gasoline cars - Results from long-term measurements. Atmospheric Environment (#1967) November 2014 No 101 (2015). p. 58-64. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.11.013.

421 David Carslaw. (2018). Emissions deterioration – the Cinderella of vehicle emissions measurement. Retrieved January 10, 2020 from https://ee.ricardo.com/news/emissions-deterioration-%E2%80%93-the-cinderella-of-vehicl.

422 Yuche Chen, Jens Borken-Kleefeld. (2016). NOx emissions from diesel passenger cars worsen with age. National Renewable Energy Laboratory, 15013 Denver West Parkway, Golden, Colorado 80401, United States, International Institute for Applied Systems Analysis, Schlossplatz 1, 2361 Laxenburg, Austria. Retrieved January 10, 2020 from https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04704?src=recsys

423 CARB. (2006). Revision of Heavy Heavy-Duty Diesel Truck Emission Factors and Speed Correction Factors (CARB's heavy-duty diesel inventory estimation methodology).

424 CARB. (2006). Revision of Heavy Heavy-duty Diesel Truck Emission factors and Speed Correction Factors (Amendment to EMFAC Modeling Change Technical Memo).

425 Tom Wenzel, Brett C. Singer. (2000). Some Issues in the Statistical Analysis of Vehicle Emissions (Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory). Journal of Transportation and statistics.

426 Nigel N. Clark , Justin M. Kern , Christopher M. Atkinson & Ralph D. Nine. (2002). Factors Affecting Heavy-Duty Diesel Vehicle Emissions, Journal of the Air & Waste Management Association, 52:1, 84-94, DOI: 10.1080/10473289.2002.10470755

427 Qingyu Zhang, Juwang Fan, Weidong Yang, Fang Ying, Zhen Bao, Yi Sheng, Cheng Lin, Xuan Chen. (2018). Influences of accumulated mileage and technological changes on emissions of regulated pollutants from gasoline passenger vehicles. Journal of Environmental Sciences. No 71. p. 197–206.

428 Morten Winther, Chris Dore, and others. (2019). Non-road mobile sources and machinery - EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, European Anvironment Agency.

429 Robert Joumard, Juhani Laurikko, Tuan Le Han, Savas Geivanidis, Zisis Samaras, et al. (2009). Accuracy of exhaust emission factor measurements on chassis dynamometer. J. Air & Waste Manage. Assoc., 009, 59, pp.695-703. Retrieved January 10, 2020 from https://www.researchgate.net/publication/26672285_Accuracy_of_exhaust_emission_factor_measurements_on_chassis_dynamometer.

430 Hao Cai, Andrew Burnham, Michael Wang. (2013). Updated Emission Factors of Air Pollutants from Vehicle Operations in GREETTM Using MOVES. Systems Assessment Section. Energy Systems Division. Argonne National Laboratory.

431 Danish Centre for Environment and Energy. (2018). Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2016. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 277.

432 Environment Australia. (2000). Emissions Estimation. Technique Manual for Aggregated Emissions from Motor Vehicles 22 November 2000 – Version 1.0. Environment Australia. NPA.

433 Oliver, Hongyan H., Kelly Sims Gallagher, Mengliang Li, Kongjian Qin, Jianwei Zhang, Huan Liu and Kebin He. (2009). In-use Vehicle Emissions in China: Beijing Study: Discussion paper 2009-05, Cambridge, Mass.: Belfer Center for Science and International Affairs.

434 Environmental Protection Agency. (2010). Development of Emission Rates for Heavy-Duty Vehicles in the Motor Vehicle Emissions Simulator MOVES2010. Final Report. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency.

435 Jiun-Horng Tsai, Yung-Chen Yao, Pei-Hsiu Huang, Hung-Lung Chiang. (2018). Fuel Economy and Volatile Organic Compound Exhaust Emission for Motorcycles with Various Running Mileages. Aerosol and Air Quality Research, 18: 3056–3067, 2018. doi: 10.4209/aaqr.2018.07.0264.

436 Philip L. Heirigs, Siona S. Delaney, Robert G. Dulla. (2004). Evaluation of MOBILE Models: MOBILE6.1 (PM), MOBILE6.2 (Toxics), and MOBILE6/CNG (is the part of NCHRP Project 25-25, Task 7, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board). Sierra Research, Inc.

437 CPT Group GmbH. (2019) Worldwide Emission Standards and Related Regulations: Passenger Cars / Light and Medium Duty Vehicles. Available at: https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET 2019.pdf

438 Nesbit, M., Fergusson, M., Colsa, A., Ohlendorf, J., Haves, C., Paquel, K., Schweitzer, J-P. (2016) Comparative Study on the Differences between the EU and US Legislation on Emissions in the Automotive Sector. European Parliament Directorate-General for internal policies. Institute for European Environmental Policy. Available at: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/587331/IPOL_STU(2016)587331_EN.pdf

439 Victor R.J.H. Timmers, Peter A.J. Achten (2016) Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. Atmospheric Environment 134 (2016). http://www.soliftec.com/NonExhaust%20PMs.pdf. Accessed 29 August 2020

440 Pallavi Pant, Roy M.Harrison (2013) Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field

measurements: A review. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028. Accessed 30 August 2020

441 Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Бондар О.В., Мироненко Ю.В. Результати дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями // Збірник Транспортної академії України, №13, 2010. с. 50-55.

442 Редзюк А.М., Агеев В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С. Духота, О.О. Бондар О.В., Мироненко Ю.В. Результати дослідження впливу режимів руху та кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями // Перевізник UA.- 2010.- № 3-4.- С.20-24.

443 Нормативний документ «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті».

444 Нормирование потребления топлива автомобильним транспортом: современное состояние и перспективы. Рубцов В.А., Клименко А.А., Устименко В.С., Дегтярь З.А. Автошляховик України. Окремий випуск № 1. Жовтень 2000р. Збірник. Проблеми автомобільного транспорту. Стр. 44-46.

445 Паливна економічність легкових автомобілів: порівняння показників, визначених у відповідності з різноманітними процедурами випробувань. Гутаревич Ю.Ф., Симоненко Р.В., Клименко О.А. // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: Збірник наукових праць. Український транспортний університет. Випуск 7. 1999. Київ, С. 77-80

446 Устименко В.С., Клименко О.А., Чиж С.М. Автоматизація розрахунків та обліку експлуатаційних норм витрат палива на підприємствах // Автошляховик України. Окр. вип. Збірн. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. «Управління безпекою на автомобільному транспорті».-2004.- С.115.

447 Редзюк А.М. , Агеєв В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Мироненко Ю.В., Бондар О.В. Удосконалення системи нормування витрат палива та мастильних матеріалів на автомобільному транспорті // Збірник Транспортної академії України, №13, 2010. с. 55-58.

448 Редзюк А.М., Агеев В.Б., Клименко О.А., Устименко В.С., Духота О.О., Мироненко Ю.В., Бондар О.В. Удосконалення системи нормування витрат палива та мастильних матеріалів на автомобільному транспорті // Перевізник UA.- 2010.- № 5.- С.26-27.

449 Звіт з НДР «Розроблення методики розрахунку та визначення обсягів викидів парникових газів від пересувних джерел». 2012 р.

450 Alexey Klimenko, Victor Ustimenko, Anatoliy Redzuk, Alexander Sigal, Dmitry Paderno and others. Verification of motor fuels consumption volumes by transport sector within the context of annual preparation of Ukraine`s GHG Inventory. Final report / Institute of engineering ecology / 2a Zhelyabova Str., Kyiv, Ukraine. – 2017. – 352 pages.

451 Дослідження впливу на викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря структури парку колісних транспортних засобів України. Проміжний звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з НДР, № Державного реєстру НДР - 0112U001736, 2015 р., 247 с.

452 Дослідження впливу на викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря структури парку колісних транспортних засобів України. Проміжний звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з НДР, № Державного реєстру НДР - 0112U001736, 2016р., 106 с.

453 НДР «Capacity building of the national GHG inventory system in terms of the devel-opment of methodological recommendations for determining national GHG emission factors from the use of motor fuels in the transport sector» (2017 р.)

454 Розроблення математичної моделі якості атмосферного повітря міста на базі європейської технології THOR-Air-PAS для оцінки ефективності

розвитку дорожньої інфраструктури, організації дорожнього руху та проектів містобудування. Проміжний звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з НДР, № Державного реєстру НДР - 0115U006028, 2015р., 277 с.

455 Technical project report 2014 - Manual for THOR-AirPAS - air pollution assessment system/ Aarhus University, Department of Environmental Science, and Aarhus University's Department with focus on business and technology, AU Hern-ing, 46 c.

456 Дослідження та розроблення рекомендацій щодо зменшення питомого споживання енергоносіїв автомобільним транспортом. Проміжний звіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» з НДР, № Державного реєстру НДР - 0115U006026, 2016 р., 154 с. та додаток на 115 с.

457 Клименко Олексій. Окремі результати реконструкції даних щодо екологічної структури парку та викидів забруднювальних речовин автотранспортом в Україні в період 1990-2016 рр. SYSTEMY I ŚRODKI TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO – Monografia pod redakcją naukową KAZIMIERZALEJDY, Nr 19 – RZESZÓW 2019 – C. 17 – 24.

458 Redziuk, A., Klymenko, O., Ageiev, V., & Novikova, A. (2017). The concept and the development plan of national transport model of Ukraine. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2(1), 16-28. doi:10.14254/jsdtl.2017.2-1.2.

459 Редзюк А.М., Клименко О.А., Агеев В.Б., Новікова А.М. Щодо концепції національної транспортної моделі України. Автошляховик України. Окремий випуск. 2017.- № 1-2(249-250).- С.4-10.

460 Редзюк А.М., Клименко О.А., Агеев В.Б., Новікова А.М. Щодо концепції національної транспортної моделі України // Перевізник UA.- 2017.- № 8.- С.20-25.

461 Клименко О.А., Тарабан С.М. Управління якістю атмосферного повітря за допомогою європейської системи THOR-AIR-PAS. Автошляховик України, № 3 (245), червень 2015. с. 2–4.

462 М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, В.П. Волков, О.К. Грищук, М.П. Цюман, І.В. Грицук, Г.О. Вайганг, О.А. Клименко. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / Під редакцією Дмитриченка М.Ф. – Київ: Вид-во НТУ, 2016. – 213 с.