

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

Клименко Олексій Андрійович



УДК 629.01:629.33

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному підприємстві «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (ДП «ДержавтотрансНДІпроект») Міністерства інфраструктури України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Гутаревич Юрій Феодосійович,
Національний транспортний університет,
завідувач кафедри двигунів і теплотехніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Біліченко Віктор Вікторович,
Вінницький національний технічний
університет, ректор;

доктор технічних наук, професор
Сарасв Олексій Вікторович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет,
декан автомеханічного факультету;

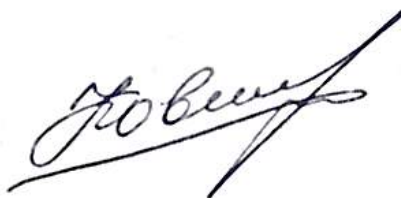
доктор технічних наук, професор
Криштопа Святослав Ігорович,
Івано-Франківський університет нафти і газу,
завідувач кафедри автомобільного транспорту.

Захист відбудеться «05» травня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 209.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «03» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Актуальність напряду 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 (ДТЗ), 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.

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект», науковим керівником та безпосереднім виконавцем яких був автор, у тому числі на замовлення Мінінфраструктури та Мінприроди, зокрема за держ. реєстр. №№ 0109U005855, 0112U006924, 0112U001736, 0115U006026, 0115U006027, 0115U006028, 0118U004245.

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, математичного апарату та математичних моделей системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря ДТЗ.

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

3. Розвиток технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин (ЗР) ДТЗ.

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

5. Підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря ДТЗ 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 ДТЗ в Україні, інвентаризацією споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних ЗР, та мониторингом стану забруднення атмосферного повітря.

7. Розроблення рекомендацій щодо комплексного подальшого впровадження та розвитку розроблених у роботі системних підходів і технологій, що забезпечують підвищення ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря ДТЗ.

Об'єкт дослідження – споживання енергії та забруднення атмосферного повітря ДТЗ.

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

Основні методи дослідження: методи системного аналізу та методи математичного моделювання, експериментальні дослідження.

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.

Практичне значення 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 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.

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 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, обробки даних вимірювань тощо.

У опублікованих працях із співавторами автор здійснював постановку задач і розробляв методи їх розв'язання [4, 9, 10, 12–15, 17–19, 21, 22, 24, 27, 28, 33–36, 38,

40, 43–55], розробляв концепції та концептуальні рішення, основи (ідеологією) нових методів, принципи побудови нових зразків обладнання і систем, принципові схеми тощо [8, 14–17, 24, 25, 28, 36–55], проводив теоретичні дослідження, здійснював математичне моделювання, аналіз [10, 12, 16, 18–20, 23, 25, 27, 33, 35, 36, 38, 40], розробляв методики та проводив експериментальні дослідження [10, 12, 36, 38, 40, 43–55]. Всі викладені в дослідженні теоретичні і концептуальні засади, математичні моделі розроблені особисто автором.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційного дослідження було оприлюднено, зокрема, на конференціях: IX «Наукові підсумки 2020 року» (м. Харків, 2020 р.); «Наукове забезпечення розвитку автомобільного транспорту та його інтеграції до європейської транспортної системи» (м. Київ, 2020 р.); XIII «Збережемо для нащадків», «Сучасні напрямки екологічного розвитку Миколаєва та інших населених пунктів України: традиції, інновації, перспективи» (м. Миколаїв, 2020 р.); XII міжнародної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 2019 р.); міжнародної конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (м. Харків, 2018 р.); III «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (м. Миколаїв, 2017); II «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (м. Миколаїв, 2016); міжнародної конференції «Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту і експертизи автомобіля», присвяченої 90-річчю проф. Говоруценка М.Я. (м. Харків, 2014); XIII «Енергетична безпека на транспорті: підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу» (м. Київ, 2014 р.); XII міжнародної конференції «Управління підвищенням енергоефективності на транспорті» (м. Одеса, 2013 р.); V міжнародної конференції «Енергетична безпека та енергоменеджмент: підвищення енергоефективності на транспорті» (м. Одеса, 2010); IV міжнародної конференції «Енергетична безпека та енергозбереження на транспорті: технології та інвестиції» (м. Одеса, 2009 р.); міжнародної конференції «Проблеми автомобільного транспорту» (м. Київ, 2005 р.); міжнародної конференції Асоціації автомобільних інженерів (Росія, м. Дмитров, 2003 р.).

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 фахових 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 конференцій. Також отримано 4 патенти на винаходи і 9 патентів на корисні моделі.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота 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. Основна частина містить 234 рисунка та 15 таблиць. Список використаних джерел викладено на 59 стор. В окремій книзі

наведено додатки до основної частини дисертації, обсягом 252 стор. Додатки містять 73 рисунок та 14 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і завдання, об'єкт і предмет, описано методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано інформацію про їх апробацію та публікацію.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд джерел в частині: варіантів розвитку технологій автомобілебудування і прогнозів зміни структури світового парку ДТЗ, виробництва різних видів енергії; викидів ЗР в атмосферне повітря дорожнім транспортом, стану забруднення атмосферного повітря та пов'язаних макроекономічних витрат; потенціалу і вартості зменшення питомого споживання енергії та викидів ЗР; світового досвіду екологічного маркування та диференціації доступу ДТЗ до інфраструктури; окремих питань оцінки в життєвому циклі; поточного стану державного управління в Україні у визначеній сфері та огляду можливих напрямів управління з врахуванням тенденцій розвитку технічного регулювання в різних регіонах світу; питань регулювання імпорту ДТЗ, що були у використанні; управління в процесі експлуатації та на етапі утилізації ДТЗ; огляду окремих, найбільш істотних проблем, що потребують вирішення для впровадження ефективного державного управління у визначеній сфері, зокрема, проблемних питань «поза-циклових» викидів, несумісності стандартів та вимог різних ринків, протиріччя різних вимог до конструкції транспортних засобів.

Визначено пріоритети, сформульовано мету і завдання дослідження, наведені вище в загальній характеристиці роботи.

У другому розділі розроблено концепцію, систему, що її реалізує, та математичний апарат системного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря транспортом.

Загальне та питоме використання енергії та інших ресурсів, інтенсивність, характер, сукупний вплив і наслідки техногенного тиску на довкілля парку ДТЗ розглянуті як складні функції від численних взаємопов'язаних факторів впливу. 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. 1.

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 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:

$$G_W = \frac{\int_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} (G) d\tau}{\int_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} (W) d\tau} \quad (1)$$

де: G_W – вартість транспортної роботи; $G = G_E + G_Q + G_S + G_M + G_E + G_T + G_F + G_I + G_B + G_U + G_D$.

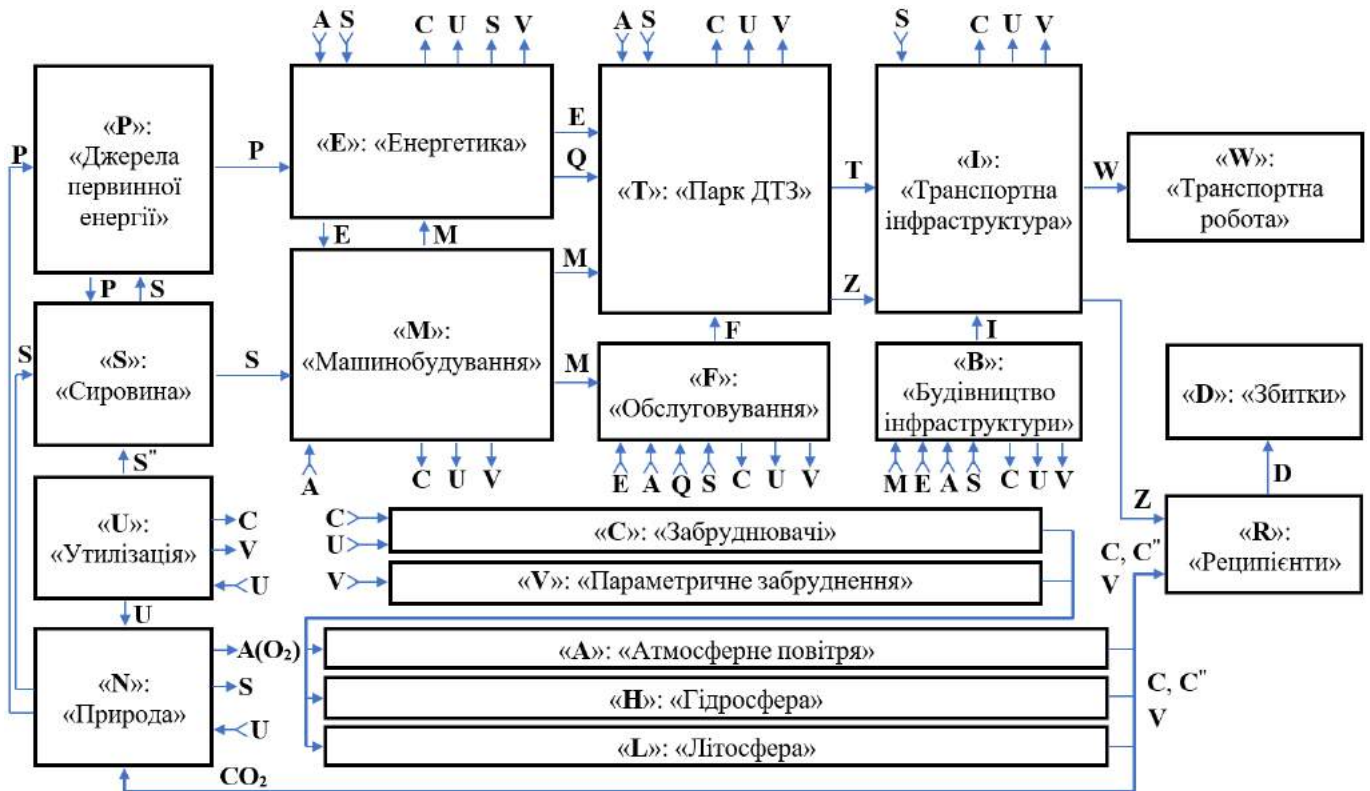


Рисунок 1 – Структурна схема основних елементів системи, що відображає використання енергії та забруднення навколишнього природного середовища дорожнім транспортом

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:

$$A_{f(\tau)} = \{\langle A_i, q_i \rangle \mid i \in K\}, \quad (2)$$

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 $|A_{f(\tau)}|$ сімейства мультимножин $A_{f(\tau)}$):

$$|A_{f(\tau)}| = \sum_{i=1}^K q_i. \quad (3)$$

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

$$A_i = \{\langle s_\tau, q_\tau \rangle \mid \tau \in T\}, \quad (4)$$

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.

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:

$$A_{i(d)} = \sum_{\tau=\tau(0)}^T A_{i(s_\tau)}, \quad (5)$$

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 :

$$A_{i(s_\tau)} = \{\langle s_\tau, d_\tau \rangle \mid \tau \in T\}. \quad (6)$$

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:

$$A = \{\langle a_i, q_i \rangle \mid i \in N\}, \quad (7)$$

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 з визначеним періодом дискретизації.

Структуру парку представлено на різних рівнях деталізації із розподіленням за основними видами ДТЗ і палива (енергії), екологічним класом та технологічним рівнем, з використанням, наприклад, в ретроспективному аналізі більше 300 груп.

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 (τ):

$$A_{SF(\tau)} = \{A_{SF(2020)}, A_{SF(2021)}, A_{SF(2022)}, \dots, A_{SF(2050)}\}, \quad (8)$$

де $A_{SF(2020)}$, що описує структуру і властивості парку у базовому 2020 році (з якого починають відлік часу в завданні прогнозування); $A_{SF(2021)}, A_{SF(2022)}, \dots, A_{SF(2050)}$, 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.; $A_{(y)n/s(\tau)} = \{A_{2021n/s(2021)}, A_{2021n/s(2022)}, A_{2021n/s(2023)}, \dots, A_{2021n/s(2049)}, A_{2021n/s(2050)}; A_{2022n/s(2022)}, A_{2022n/s(2023)}, A_{2022n/s(2024)}, \dots, A_{2022n/s(2049)}, A_{2022n/s(2050)}; \dots A_{2049n/s(2049)}, A_{2049n/s(2050)}; A_{2050n/s(2050)}\}$, що, відповідно, описують поповнення парку та подальшу зміну кількості, активності і властивостей решти від окремо кожної з цієї груп ДТЗ.

Кожне з наведених вище сімейств мультимножин A_f складається з принаймні таких уніфікованих мультимножин:

$$A_f = \{N_{\tau 0}, Y_0, N_v, \tau, T_m, K_m, N_\tau, M_0, T_{lm}, K_{lm}, EMF, MR_c, M_\tau, V_{km}, SFC, TFC, EF_0, DF, SRE_{(L-g/km)}, TRE_{(L)}, W_{(m)}, SRE_{(H-g/tkm)}, TRE_{(H)}, TRE(S)\}, \quad (9)$$

де $N_{\tau 0}$ і Y_0 – відповідно об'єкти (види ($i \in K$) ДТЗ) та середній вік у групах (i) об'єктів з початку відліку часу; N_v – кількість об'єктів з початку їх експлуатації; $n_{v(i)} = n_{\tau 0} / \exp(-(y_{0(i)}/T_{m(i)})^{K_{m(i)}})$; τ – поточний час; T_m і K_m – відповідно параметр часу та степінь функції щільності розподілу Вейбула, що описує залишок ДТЗ з початку експлуатації; N_τ – поточна кількість об'єктів у групі; $n_{\tau(i)} = n_{\tau 0} \times \exp(-(\tau_{(i)}/T_{m(i)})^{K_{m(i)}})$; M_0 – середній щорічний пробіг (активність) об'єктів у групі; T_{lm} і K_{lm} – відповідно параметр часу та степінь функції щільності розподілу Вейбула, що описує зменшення середніх щорічних пробігів ДТЗ у групі з початку експлуатації; EMF – функція розподілу (флуктуації) зміни щорічних пробігів у групах, зумовлених макроекономічними факторами; MR_c – функція розподілу активності між групами; M_τ – активність об'єктів у групі; $m_{\tau(i)} = m_{0(i)} \times emf_{(i)} \times mr_{c(i)} \times \exp(-(\tau_{(i)}/T_{lm(i)})^{K_{lm(i)}})$; V_{km} – транспортна робота; $v_{km(i)} = n_{\tau(i)} \times m_{\tau(i)}$; SFC і EF_0 – відповідно питомі витрати палива (енергії) та зведені питомі масові викиди ЗР станом на початок експлуатації ДТЗ, як функції від усереднених умов експлуатації (дорожніх, кліматичних тощо), та інших факторів впливу; TFC – сукупні витрати енергії; DF – функції зміни з часом питомих

викидів ЗР (деградація технічного стану та екологічних властивостей ДТЗ); $SRE_{(L-g/km)}$ – зведені питомі викиди легкових автомобілів; $TRE_{(L)}$ – сукупні масові викиди ЗР групами легкових автомобілів; W_m – середня маса ДТЗ; $SRE_{(H-g/tkm)}$ – зведені питомі викиди важкими ДТЗ (вантажні автомобілі та автобуси); $TRE_{(H)}$ – сукупні масові викиди ЗР групами важких ДТЗ; $tre(h)_{(i)} = sre(h)_{(i)} \times W_{m(i)}$; $TRE(S)$ – сукупні масові викиди ЗР парком ДТЗ в цілому; $tre(s)_{(i)} = tre(l)_{(i)} + tre(h)_{(i)}$.

Показники питомого споживання енергії та питомі викиди окремих видів ЗР (всього 64 види речовин у моделі) розраховують за методикою Європейського агентства навколишнього середовища або за усередненими даними, або з врахуванням впливу умов експлуатації 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 з 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:

$$FD = \{RR_p, N_p, N_c, EV_s, EV_c, MD, MR_c, K_N, N, C_{VN}, V_{NA}, Y, T_m, K_m, EMF, M_0, T_{lm}, K_{lm}, F_P, F_D, F_{LPG}, F_{CNG}, F_E, EF_0, DF, NEF\}, \quad (10)$$

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; EV_s – 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); $F_P, F_D, F_{LPG}, F_{CNG}$ і F_E – відповідно питомі витрати бензинів, дизельних палив, зрідженого нафтового газу, природного газу та електричної енергії як функції від усереднених умов експлуатації та інших факторів впливу; 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:

$$ASF = \{R_{(fleet)}, R_{(Act)}, R_{(Energy)}, R_{(Emission)}, R_{(Cost)}, R_{(Rel)}, EMF, MR_c, G-S, N_s, N_{NC}, RedEm, CO_2, EnCons, ECD_{(PJ)}, Mil, SEC, Age, 2020, \dots, 2050, NEF\}, \quad (11)$$

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 ЗР парком ДТЗ у часі, із розподілом за видами енергії (палив) та групами ДТЗ, а також викиди ЗР у суміжних секторах (викиди CO₂, пов’язані з виробництвом електроенергії для заряджання електромобілів тощо); $R_{(Cost)}$ – макроекономічні розрахунки; $R_{(Rel)}$ – зведені питомі та інтегральні показники споживання енергії та викидів ЗР; 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 дезаггегованих 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 ЗР; CO₂ – розрахунки та аналіз за окремими групами ДТЗ зведених сумарних викидів CO₂ 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, 2021, ..., 2050 – відповідно зведені розрахунки показників $p_{(x)(2020)}, p_{(x)(2021)}, \dots, p_{(x)(2050)}$ за 2020, 2021, ..., 2050 роки.

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 ЗР тощо, розраховують за спорідненими елементами мультимножин як:

$$p_{(x)(\tau)} = \sum_{i=1}^K (A_{SF(\tau)(x)i} + A_{(y)n(\tau)(x)i} + A_{SF(\tau)(x)i}) \quad (12)$$

За наведеними вище й іншими показниками розраховують, зокрема, питомі показники, зокрема, споживання енергії та викиди ЗР 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 $\tau_1 - \tau_2$ можна визначити відповідно як:

$$P_{(x)} = \int_{\tau=\tau_1}^{\tau_2} p_{(x)(\tau)} d\tau \quad (13)$$

Адекватність математичних моделей доведена порівнянням розрахованого споживання енергії парком ДТЗ в Україні з офіційними статистичними даними в окремі часові періоди, що характеризують відносно повні набори вихідних даних.

Приклад окремих елементів системи управління шляхом регулювання доступу до ринку, експлуатації та інфраструктури наведено на рис. 2.

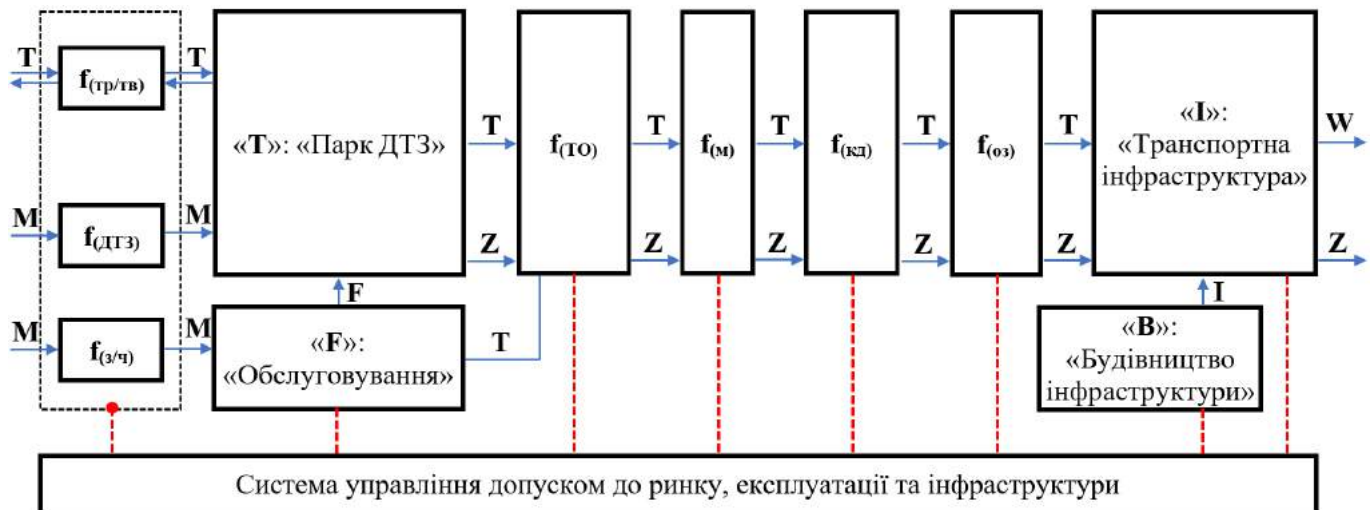


Рисунок 2 – Окремі елементи системи управління шляхом регулювання доступу до ринку, експлуатації та інфраструктури

Описані вище засади системного підходу, як методологічна основа, та математичні моделі реалізовано чисельними методами з використанням 2835 матриць, що містять відповідні дані та зв'язки між ними.

У третьому розділі визначено оптимальні напрями, пріоритети і межі доцільного управління ефективністю використання енергії та забрудненням атмосферного повітря парком ДТЗ в Україні. На основі розроблених у розділі 2 моделей здійснено розрахунки та отримано прогнози зміни у часі структури, чисельності та активності парку ДТЗ в Україні, споживання різних видів енергії та обсягів викидів ЗР за різними сценаріями соціально-економічного розвитку країни та варіантами державного регулювання у цій сфері.

Розглянуто базовий та оптимістичний сценарій соціально-економічного розвитку країни (відповідно, макроекономічні сценарії № 1 і № 2), надані наприкінці 2020 р. Інститутом економіки та прогнозування НАН України, а також сценарій економічної стагнації (№ 3). У дужках до сценарію надано позначення варіантів управління, серед яких розглянуто реалізацію: (1) – існуючої політики у цій сфері; (2) – впровадження стандартів питомої витрати палива та викидів парникових газів; (3) – стимулювання прискореного «вибухоподібного» зростання частки електромобілів в структурі парку; (4) – поєднання варіантів (2) і (3); (5) повернення в законодавчу площину регулювання екологічних властивостей до ДТЗ, що були в користуванні тощо. Зазначені вище варіанти управління змодельовано як граничні. Таким чином, реальний розвиток з високою ймовірністю може бути передбачений в межах цих сценаріїв. Загалом, розроблений у розділі 2 методологічний підхід і математичні моделі дозволяють здійснювати прогнози розвитку за численними варіантами та на різних рівнях деталізації.

Наприклад, на рис. 3 показано отриманий прогноз чисельності та екологічної структури парку («EV» - електромобілі) та на рис. 4 – споживання енергії за базовим макроекономічним сценарієм № 1 та за умов поточного варіанту управління (1).

Наведено агреговані результати, що складаються з детальних результатів моделювання по окремих групам ДТЗ, потреба в оновленні та загальні кількості транспорту за якими розраховується методом ітерацій з огляду на прогнозовані потреби у транспортному процесі й інші чинники, з врахуванням функцій розподілу щорічних пробігів ДТЗ та вибуття з експлуатації залежно від віку та інших факторів.

Приклад прогнозів зміни у часі умовних, зведених до CO, викидів ЗР внаслідок використання різних видів моторних палив показано на рис. 5, що відповідає оптимістичному сценарію розвитку економіки та обсягів перевезень.

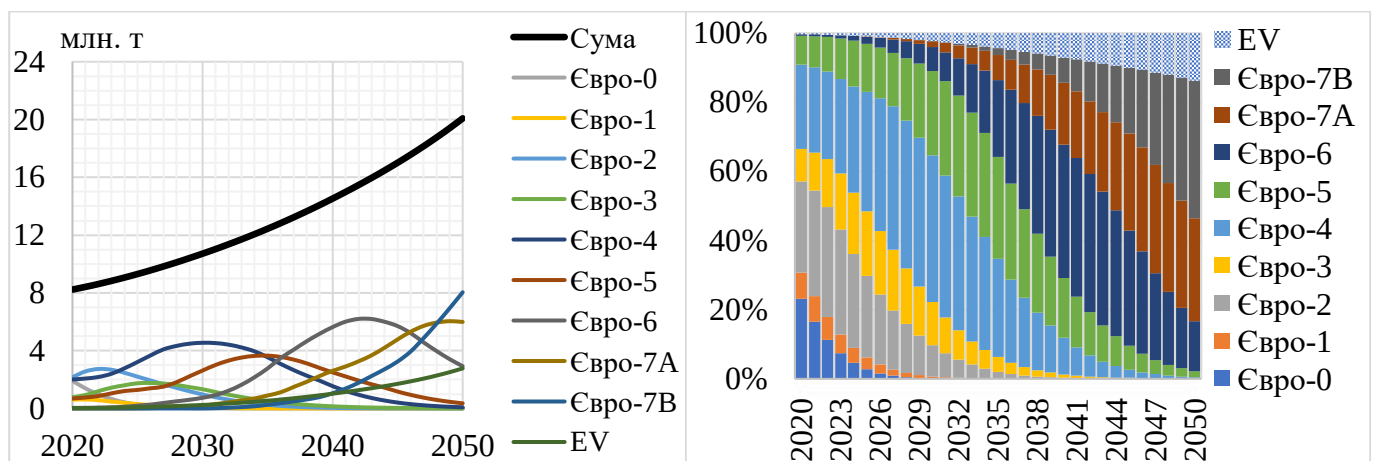


Рисунок 3 – Результати розрахунків зміни структури (а) та розподілу (%) парку ДТЗ (б) за рівнем екологічних стандартів (базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

Збільшення споживання енергії парком відбуватиметься із, зокрема, збільшенням частки дизельного палива. ДТЗ з дизелями принаймні на найближчі два десятиліття в основному визначатимуть загальні зведені викиди токсичних речовин в атмосферне повітря.

На рис. 6 показано приклад зміни у часі викидів CO₂ парком ДТЗ в Україні за базовим макроекономічним сценарієм та варіантом управління № 4, що поєднує заходи із запровадження жорстких стандартів енергетичної ефективності і питомих викидів парникових газів разом із заходами стимулювання прискореного «вибухоподібного» зростання частки електромобілів в структурі парку.

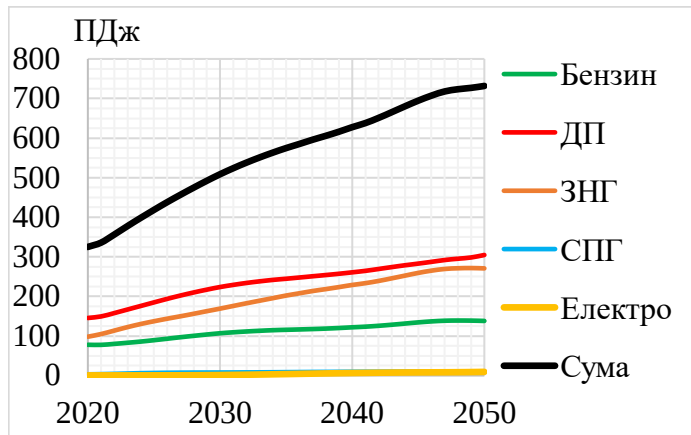


Рисунок 4 – Споживання енергії
(базовий сценарій № 1(1) до 2050 р.)

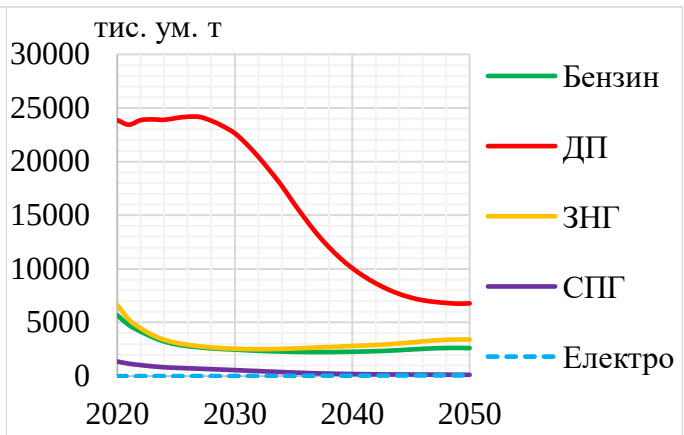


Рисунок 5 – Умовні, зведені до CO,
викиди ЗР (сценарій № 2(1) до 2050 р.)

Зазначені та інші прогнози використано Міндовкілля як обґрунтування другого національно визначеного внеску України за Паризькою кліматичною угодою в частині дорожнього транспорту.

На рис. 7 показано зведені до CO, викиди ЗР за варіантом управління № 5.

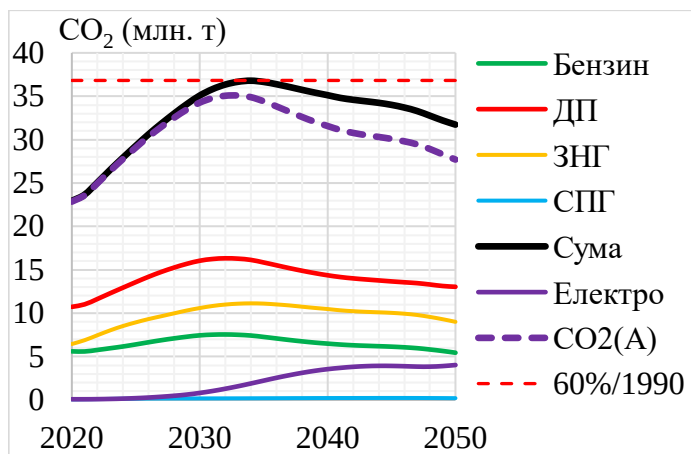


Рисунок 6 – Викиди CO₂ парком ДТЗ в
Україні (сценарій № 1(4) до 2050 р.)

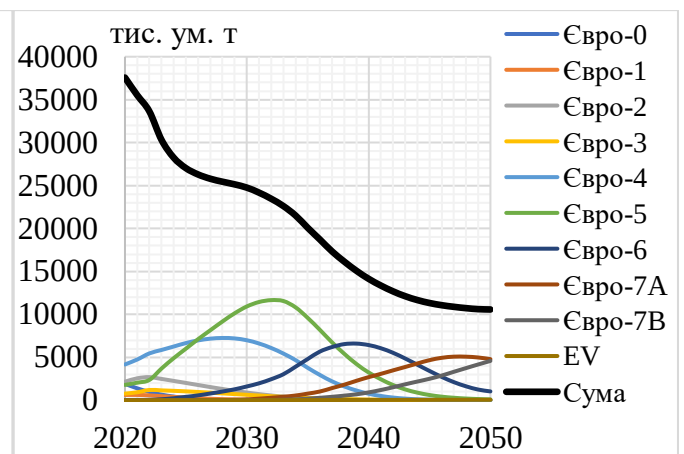


Рисунок 7 – Умовні, зведені до CO,
викиди ЗР (сценарій № 1(5) до 2050 р.)

Наведені вище характеристики інерційності процесу оновлення парку, зміни питомого і валового споживання енергії та викидів ЗР доводять необхідність у плануванні заходів з управління та прогнозуванні на тривалий період часу.

Одними з результатів наведених вище, як приклад, та інших результатів моделювання в цілому є комплекс важливих висновків щодо оптимальних напрямів і меж доцільного управління у визначеній сфері. Зокрема, доведено, що виконання чинних міжнародних зобов'язань України у сфері зміни клімату на період до 2030 р.,

в частині, що стосується дорожнього транспорту, є неможливим лише за рахунок, наприклад, прискореного розвитку електротранспорту чи впровадження стандартів енергоефективності. Показано, що впровадження більш жорстких екологічних норм, або навіть заборона першої реєстрації ДТЗ з двигунами внутрішнього згоряння є недостатнім для істотного покращення якості атмосферного повітря в містах в найближчій, та кардинального покращення в оглядовій перспективі. Вирішення цього завдання потребує у першу чергу впровадження екологічних зон, тобто диференціації умов доступу транспорту до надмірно забруднених територій.

Четвертий розділ присвячено розвитку технологій, обладнання і методів експериментальних та розрахункових досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів ЗР ДТЗ, що є невід’ємною, критично важливою складовою системного управління у визначеній сфері.

Розроблено повно-потоківу систему відбору проб постійного об’єму (систему CVS) моделі EMMS-CVS-010 для визначення масових викидів ЗР двигунами автомобілів (рис. 8). Система має оригінальну конструкцію, яка дозволила також реалізувати розроблений метод повно-потоківого відбору проб змінного об’єму (метод VVS), що усуває принципові недоліки стандартного методу CVS та дозволяє вимірювати низькі значення масових викидів, що є важливим для подальшого розвитку технічного регулювання у цій сфері (отримано патенти України).



Рисунок 8 – Розроблена система CVS моделі EMMS-CVS-010, яка реалізує також розроблений метод повно-потоківого відбору проб змінного об’єму (метод VVS)

Розроблено систему аналізу емісії частинок моделі «МТ-010» (рис. 9), що має оригінальну запатентовану конструкцію. Для досягнення широкого динамічного діапазону (1:50) і, відповідно, високих метрологічних характеристик в системі застосовано, зокрема: подвійне вимірювання потоків масовими і об’ємними витратомірами з урахуванням динамічної зміни хімічного складу газів (отримано патенти України); ультра точна (в межах $\pm 0,01$ °C) термостабілізація потоків газів;

використання цифрових алгоритмів лінеаризації і компенсації, спеціальних алгоритмів управління потоками тощо.

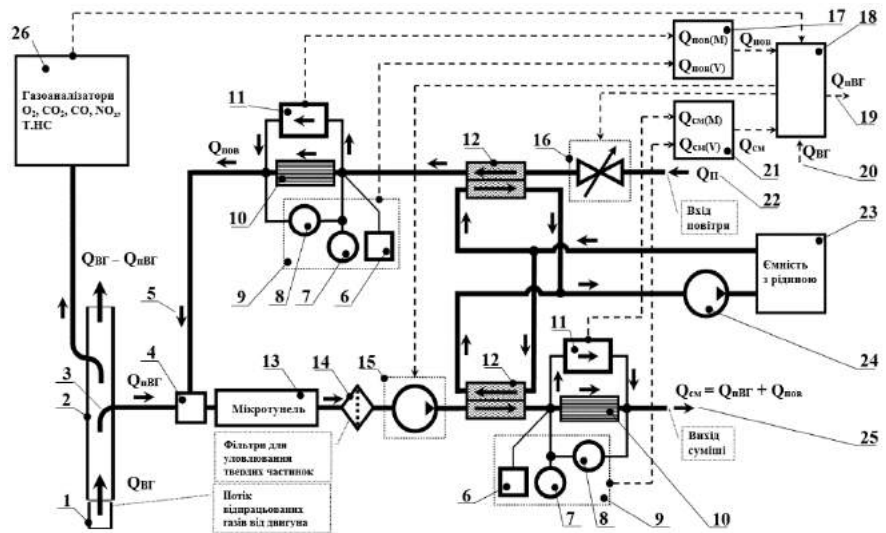


Рисунок 9 – Розроблені система аналізу емісії частинок моделі «MT-010» та спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів

Розроблено новий метод (отримано патенти України) визначення рахункової концентрації та дисперсного складу частинок у складі відпрацьованих газів двигунів і продуктів зношування (рис. 10).

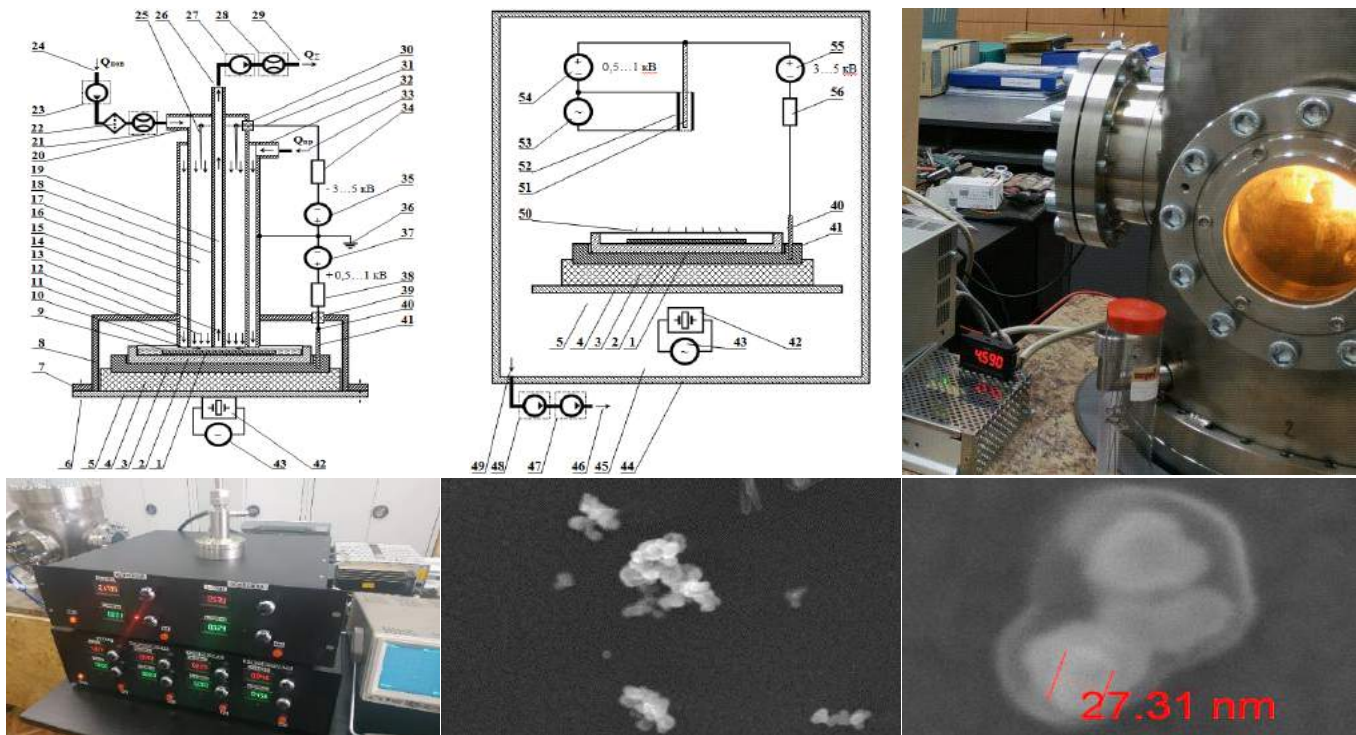


Рисунок 10 – Розроблений метод і окремі елементи системи відбору та підготовки проби частинок з газового середовища для електронної мікроскопії

Розроблено мікропроцесорну систему управління моторними стендами для випробовування двигунів та модернізовано лабораторію стендових випробувань

двигунів (рис. 11), отримано принципово нові в Україні можливості з випробування двигунів, покращено точність вимірювань ($\pm 0,05\%$ за крутним моментом, наприклад).

Розроблено мікропроцесорну систему управління тяговим роликівим стендом для випробування великовантажних автомобілів та автобусів (рис. 12), істотно покращено точність вимірювань ($\pm 0,1\%$ за тяговим зусиллям).

Розроблено ефективний (рис. 13) метод цифрової компенсації явища гістерезису в трактах вимірювання фізичних величин.

Розроблено багатоканальну систему збору даних вимірювань моделі ADPS-32-01 (рис. 14) з використанням цифрового сигнального процесору та з розподіленою обробкою даних, здатну надійно працювати в жорстких умовах.



Рисунок 11 – Розроблена система управління моторними стендами та модернізована лабораторія стендових випробувань двигунів



Рисунок 12. Розроблена система управління тяговим роликівим стендом



Рисунок 13. Приклад ефективності розробленого методу цифрової компенсації гістерезису

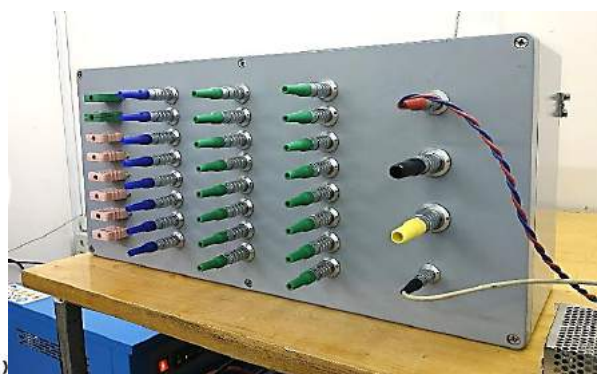


Рисунок 14. Розроблена система збору даних вимірювань моделі ADPS-32-01

Розроблено автоматизований паливний модуль моделі AFDS-010 (рис 15) для проведення тривалих порівняльних випробувань різних рецептур моторних палив.

Розроблено аналізатор моторних палив моделі UFA-001 (рис 16), що дозволив провести поглиблені дослідження реакції холодно-полум'яного окислення палив.

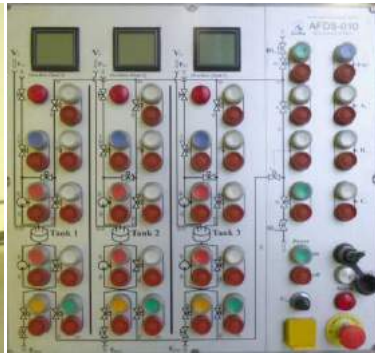


Рисунок 15 – Розроблений автоматизований паливний модуль моделі AFDS-010

Рисунок 16 – Розроблений аналізатор моторних палив моделі UFA-001

Розроблено технологію (метод) для визначення масових викидів ЗР безпосередньо на борту транспортного засобу в умовах реальної експлуатації (отримано патенти).

Розроблено інженерну інфраструктуру та введено в експлуатацію газоаналітичну систему МЕХА-7400 фірми Horiba (рис. 17), що є наразі єдиним в країні повноцінним газоаналітичним комплексом у сфері випробування ДТЗ та їх двигунів. Впроваджено та інтегровано в цілісний комплекс із створенням відповідної інфраструктури численне інше вимірювальне і допоміжне обладнання від провідних виробників (на рис. 18 – приклад чистого боксу для зважування фільтрів із захопленими частинками).



Рисунок 17 – Введена в експлуатацію газоаналітична система МЕХА-7400 фірми Horiba

Рисунок 18 – Чистий бокс з аналітичними вагами

Спроектований бокс стендових випробувань транспортних засобів за їзовими циклами та введений в експлуатацію єдиний в країні 48-дюймовий роликовий моделюючий стенд фірми AVL (рис. 19).

Розроблене програмне забезпечення «Data-Model Processing System» для автоматизованої обробки експериментальних даних (приклад на рис. 20) та їх опису із використанням сплайн-функцій для наступного математичного моделювання, зокрема, витрати енергії в їзових циклах тощо.



Рисунок 19 – Введений в експлуатацію 48-дюймовий роликовий моделюючий стенд фірми AVL із розробленою інженерною інфраструктурою

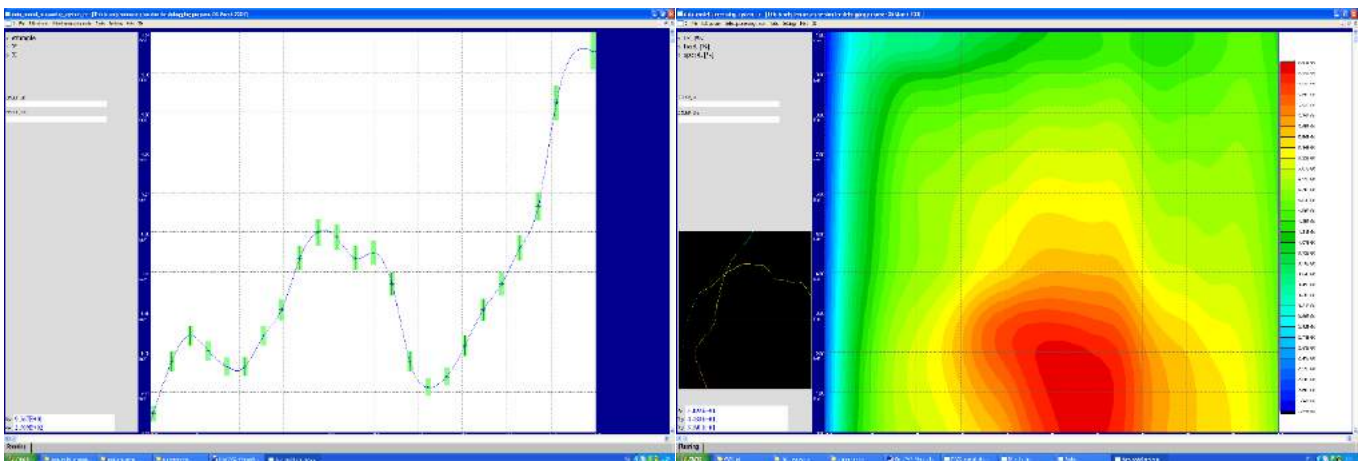


Рисунок 20 – Приклад 2-D і 3-D представлення даних та розрізів поверхні у розробленому ПЗ «Data-Model Processing System»

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

Отримані програмно-апаратним комплексом «Vehicle Performance Analysis System» та оброблені в «Data-Model Processing System» результати експериментальних досліджень далі можуть бути знов інтегровані у програмне середовище «Vehicle Performance Analysis System» для подальшого математичного моделювання руху ДТЗ в їздових циклах, витрати енергії, вирішенні оптимізаційних завдань аналітичними методами тощо (рис. 21). Це дозволяє принципово покращити якість опису експериментальних даних та мінімізувати витрати часу на їх введення, як вихідних даних (функцій) в математичні моделі.

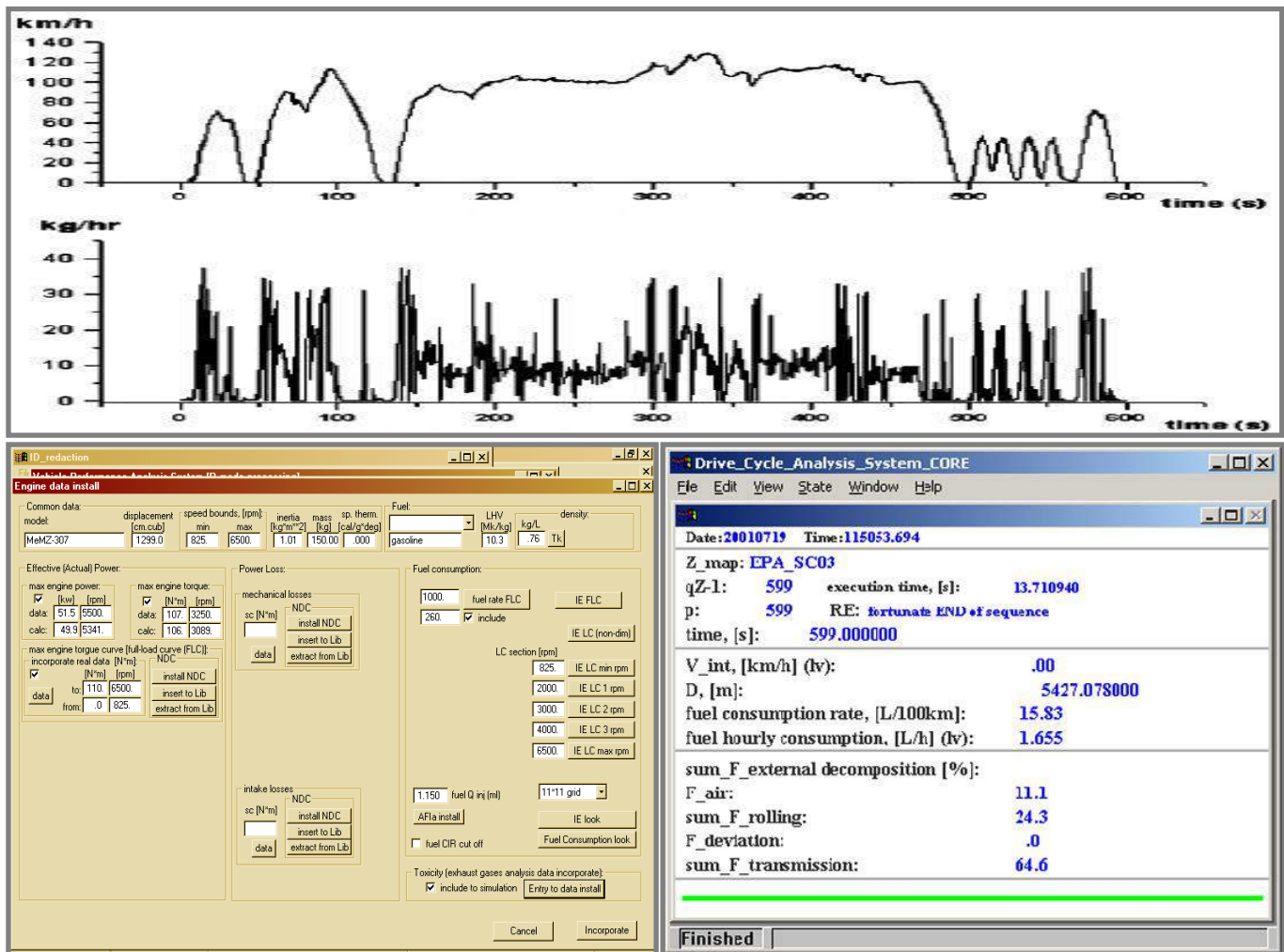


Рисунок 21 – Приклади фрагментів розробленого інтерфейсу ПЗ «Vehicle Performance Analysis System» для оптимізації конструкції автомобілів і двигунів методами математичного моделювання

Таким чином, зокрема, було розроблено базові лінійні норми витрати палива для 136 модифікацій легкових автомобілів виробництва Запорізького автомобілебудівного заводу.

П'ятий розділ присвячений розробленню системи показників, методів визначення, маркування ефективності використання енергії ДТЗ та їх екологічного рівня.

Надано 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 істотних екологічних властивостей колісних транспортних засобів.

Наведено результати дослідження зведених викидів ЗР автомобілями різних екологічних класів «Євро», як основи маркування рівня екологічної небезпеки.

Сумарні зведені викиди $\sum \text{CO}_{\text{зв}}$ (г/км) основних видів ЗР розраховують ґрунтуючись на коефіцієнтах їх відносної шкідливості ($K_{\text{ш}}$) відносно оксиду вуглецю, відповідно до підходу, що набув широкого використання:

$$\sum \text{CO}_{\text{зв}} = \sum_{i=1}^n m(i) \times K_{\text{ш}}(i), \quad (14)$$

де $\sum \text{CO}_{\text{зв}}$ – сумарні зведені викиди основних видів ЗР (в умовних грамах оксиду вуглецю (CO), шкідливість (агресивність) якого прийнято за одиницю, г/км; $m(i)$ – масові викиди i -й ЗР, г/км; $K_{\text{ш}}(i)$ – коефіцієнт відносної шкідливості i -й ЗР (відносно оксиду вуглецю (CO)); n – загальна кількість видів ЗР, що враховують.

В цій роботі в розрахунках використано 64 види ЗР, які є найбільш впливовими з точки зору визначення сумарної токсичності викидів, та встановлено їх коефіцієнти відносної шкідливості. Результати розрахунків на основі прийнятих в роботі значень коефіцієнтів шкідливості показано на рис. 22–25.

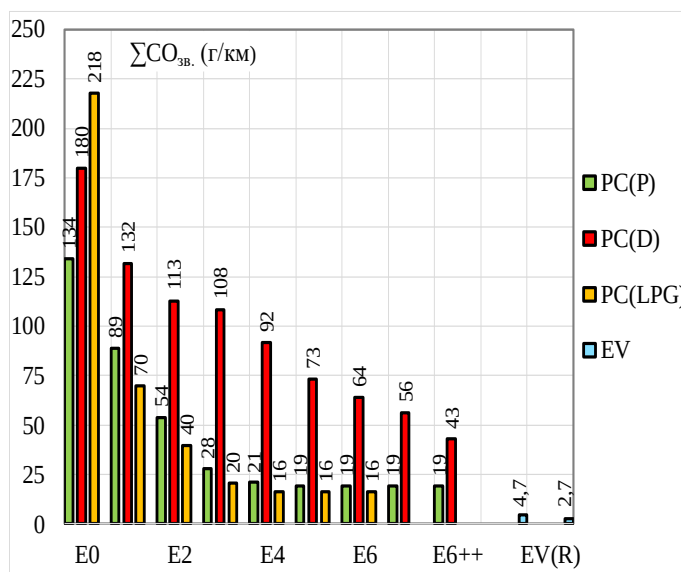


Рисунок 22 – Зведені до СО сумарні викиди легковими автомобілями (г/км)

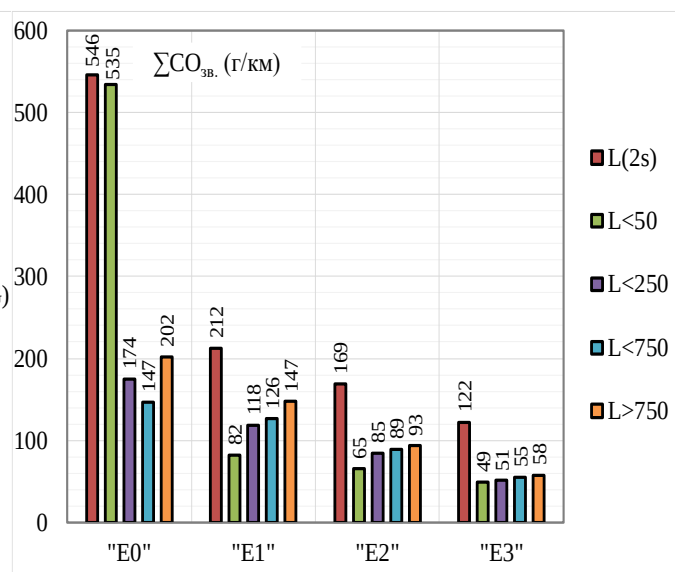


Рисунок 23 – Зведені до СО сумарні викиди ДТЗ категорії L

Викиди електромобілів у наведеній вище єдиній системі координат представлені продуктами зношування. Показано, що зведені викиди токсичних речовин в експлуатації, наприклад, нових сучасних бензинових ДТЗ становлять в середньому 19 г/км, а електромобілів – 4,7 г/км, тобто останні є менш шкідливими лише в 4 рази у розрізі локального забруднення довкілля.

При цьому викиди ДТЗ категорії L можуть значно перевищувати викиди легкових і навіть вантажних автомобілів та автобусів.

Поточне значення зведених викидів ДТЗ з великим терміном експлуатації ($\text{ЗВ}_{\text{П}}$, г/км), розраховують виходячи з базового значення для нового автомобіля ($\text{ЗВ}_{\text{Б}}$, г/км), скоригованого залежно від віку (Y , роки) з використанням коефіцієнту погіршення (DF), як $\text{ЗВ}_{\text{П}} = \text{ЗВ}_{\text{Б}} \times (1 + DF \times Y)$.

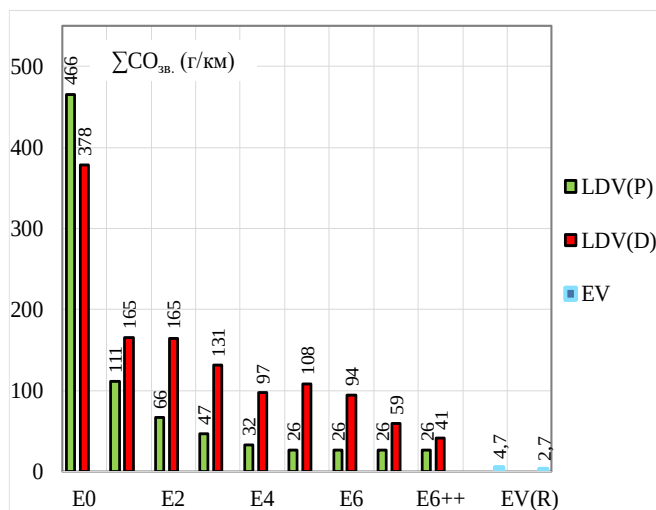


Рисунок 24 – Зведені до СО сумарні викиди легким комерційним транспортом (г/км)

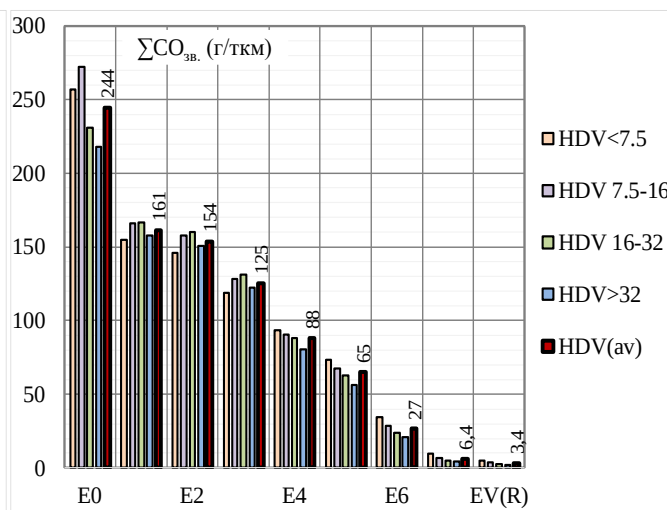


Рисунок 25 – Зведені до СО питомі сумарні викиди важким комерційним транспортом (г/ткм) («av» – усереднено)

За отриманими результатами запропоновану універсальну, зручну та ефективну систему класифікації поточних рівнів екологічної небезпеки (РЕН) та відповідного маркування ДТЗ різних категорій, приклад якої представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Приклад значень РЕН для легкових автомобілів з бензиновими двигунами

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
Євро-6							0	1-5	6-12	13-20																		
Євро-5							0	1-4	5-10	11-16	17-25																	
Євро-4								0	1-4	5-8	9-14	15-21	22-30															
Євро-3									0	1-3	4-7	8-12	13-18	19-26														
Євро-2												0	1-2	3-5	6-10	11-15	16-21	22-29										
Євро-1														0	1	2-4	5-7	8-11	12-16	17-22	23-30							
Євро-0															0	1	2-3	4-5	6-8	9-12	13-17	18-23	24-31					
ПВ																			0	1	2-3	4-5	6-8	9-12	13-17	18-23	24-31	32-40

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. В комірках напроти рівня «Євро» або початкових вимог «ПВ» зазначено діапазон віку.

Запропонований підхід дозволяє здійснювати в єдиній, уніфікованій системі координат регулювання ДТЗ, вироблених за несумісними екологічними стандартами різних ринків.

Розраховане зменшення сумарних зведених питомих викидів ЗР (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» (рис. 26).

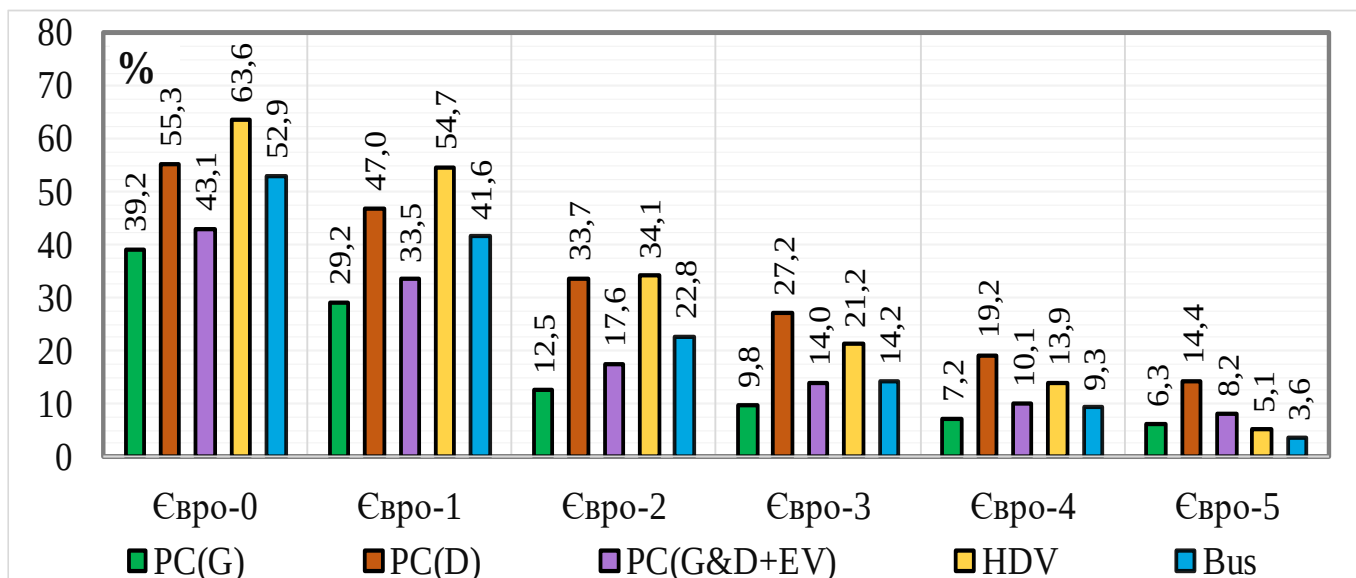


Рисунок 26 – Розраховане зменшення зведених питомих викидів ЗР у випадку виключення доступу до екологічної зони ДТЗ наведеного і нижчих рівнів «Євро»

Досліджено агреговану токсичність ДТЗ як основу для майбутнього регулювання у галузі захисту атмосферного повітря. Приклади отриманих результатів показано на рис. 27–29, де використано такі скорочення: «АКА» – альдегіди, кетони та ароматичні вуглеводні; «ТSP» – сукупні зважені частинки; «ТCOM» – адсорбовані на поверхні частинок і абсорбовані поліциклічні ароматичних вуглеводні та стійкі органічні забруднювачі, альдегіди, кетони та ароматичні вуглеводні; «SD (TBR)» – сукупні викиди із продуктами зношування.

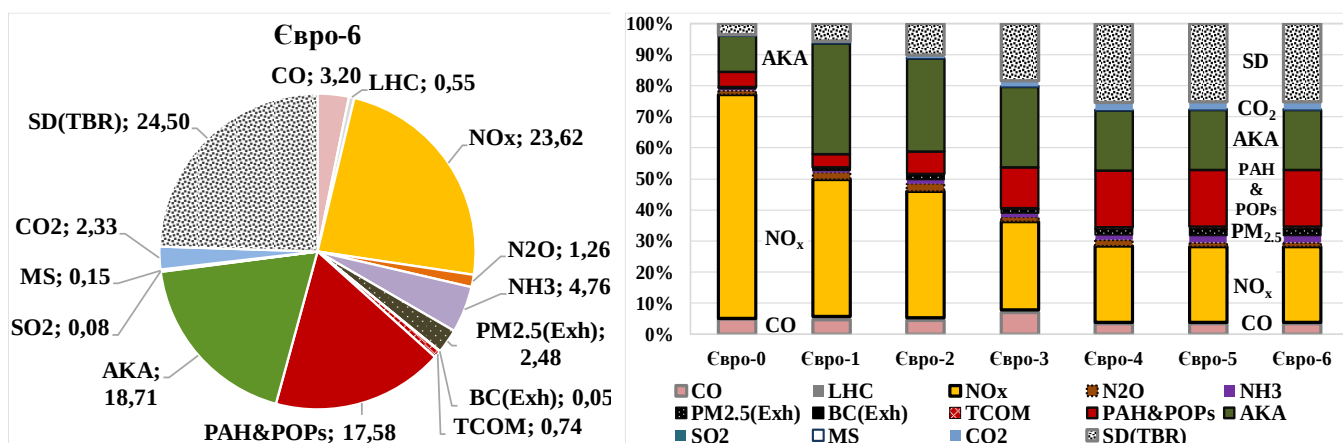


Рисунок 27 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність сучасних автомобілів з бензиновим двигуном та залежно від класу «Євро»

Отримані результати дозволяють зробити важливі висновки та визначити пріоритети у подальшому законодавчому регулюванні викидів різних шкідливих речовин транспортом.

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 до оксиду вуглецю ЗР для легкових автомобілів та близько 3–6 г/ткм для вантажних автомобілів та автобусів.

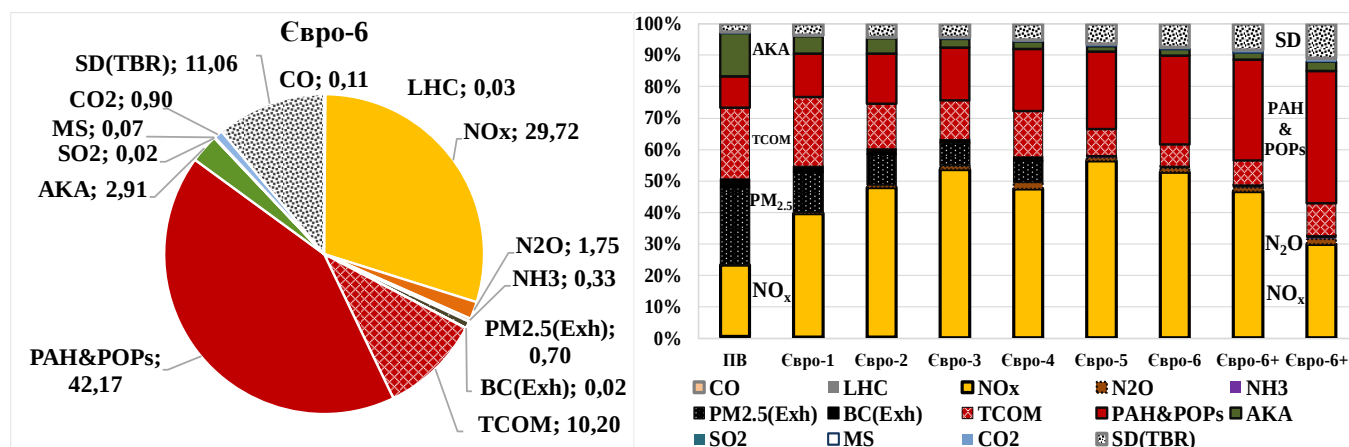


Рисунок 28 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність сучасних автомобілів з дизелями та залежно від класу «Євро»

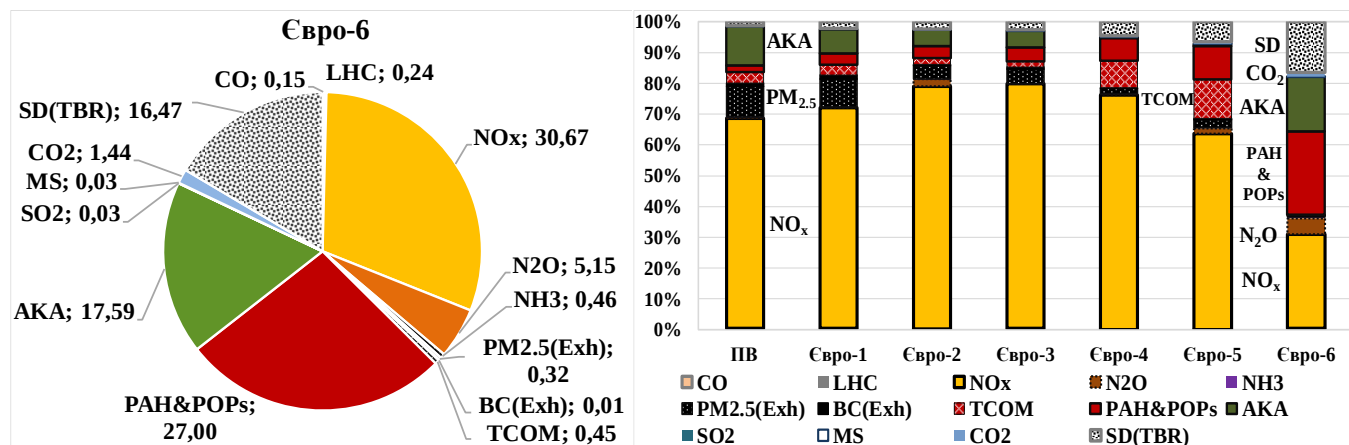


Рисунок 29 – Внесок (%) різних забруднювачів у сукупну токсичність сучасних міських автобусів з дизелями та залежно від класу «Євро»

Досліджено велику репрезентативну вибірку ДТЗ (всього випробувано 1157 автомобілів), розроблених відповідно до вимог північно-американських стандартів, що були в користуванні, та імпортовані в Україну з США, на предмет відповідності встановленим екологічним нормам в їздовому циклі NEDC (рис. 30). Показано, що основна частина викидів автомобілів з бензиновими двигунами відбувається до моменту прогріву системи каталітичної нейтралізації (рис. 30).

Таким чином, вперше отримано характеристики розподілу цієї продукції вимогам екологічних стандартів у відмінній тестовій процедурі (приклади для окремих забруднювачів наведено на рис. 31–34).

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.

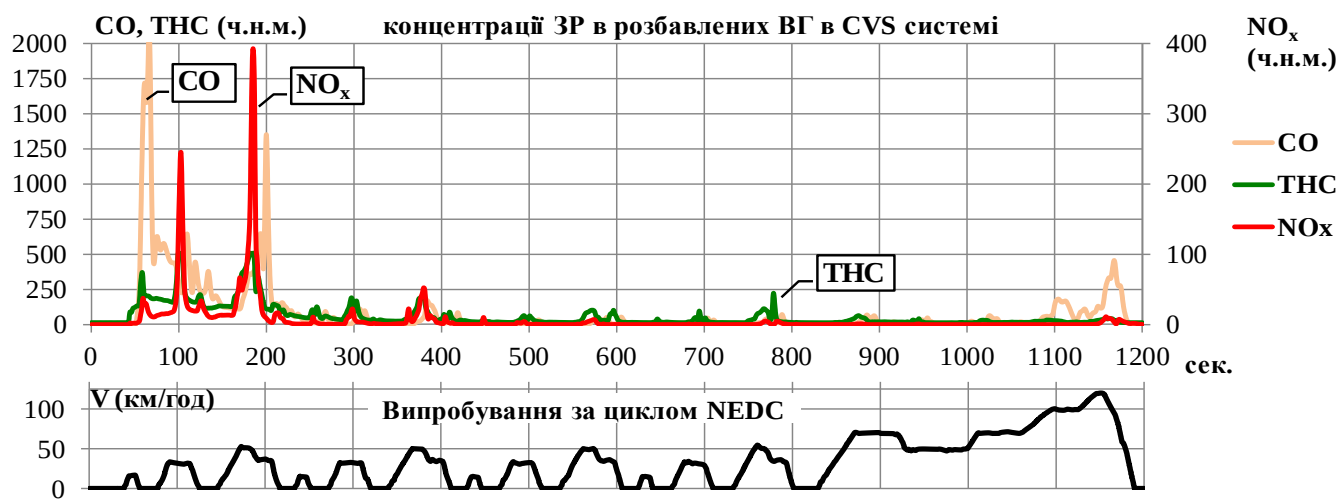


Рисунок 30 – Приклад зміни концентрацій ЗР за циклом NEDC

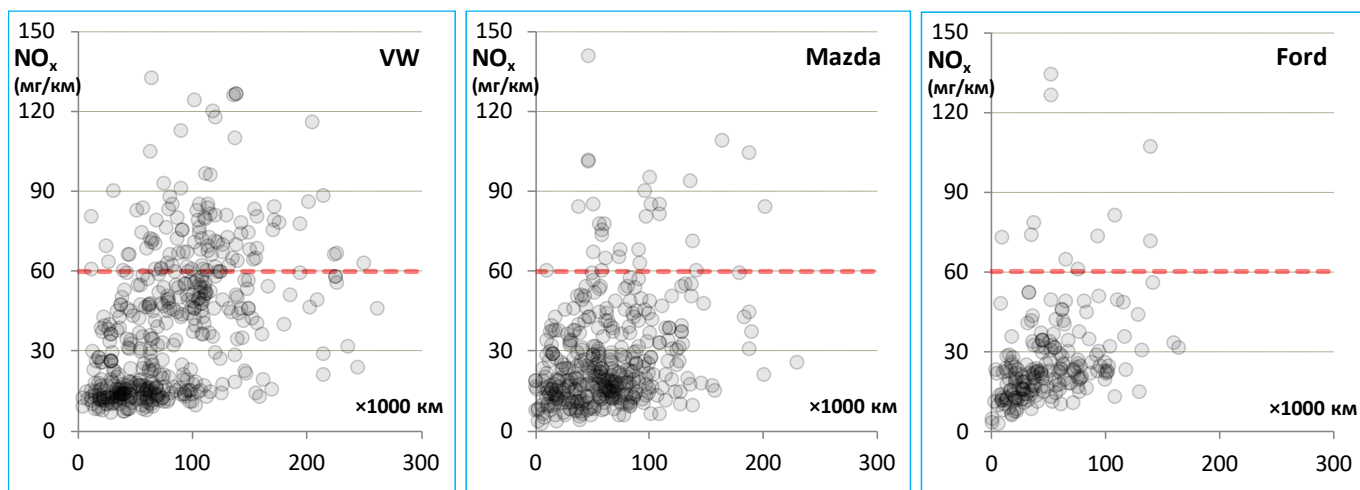


Рисунок 31 – Розподіл масових питомих викидів NO_x залежно від пробігу

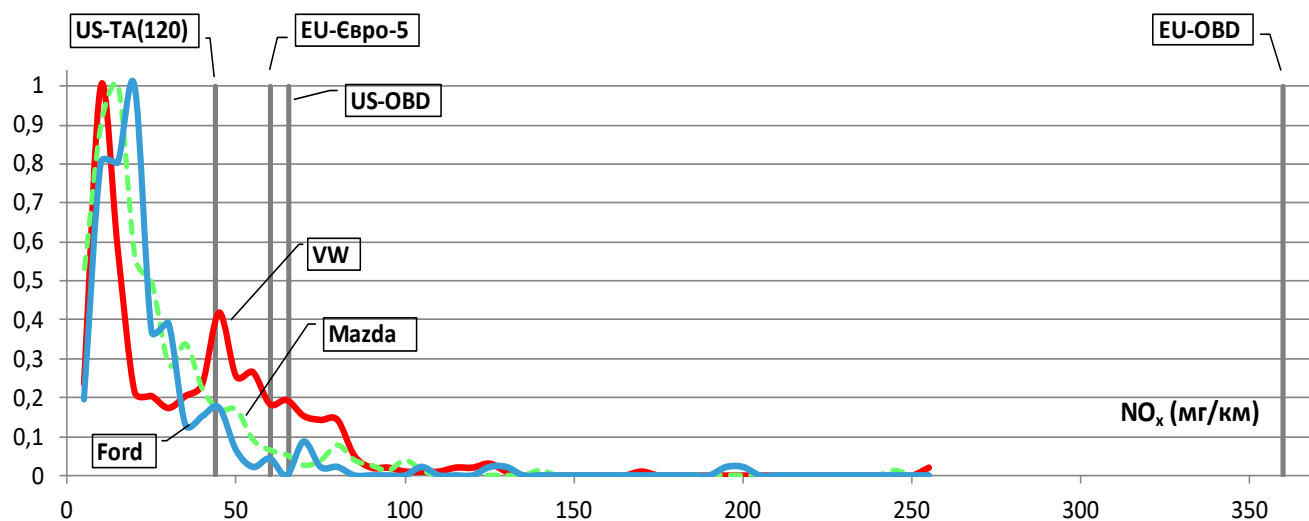


Рисунок 32 – Порівняння розподілу масових питомих викидів NO_x

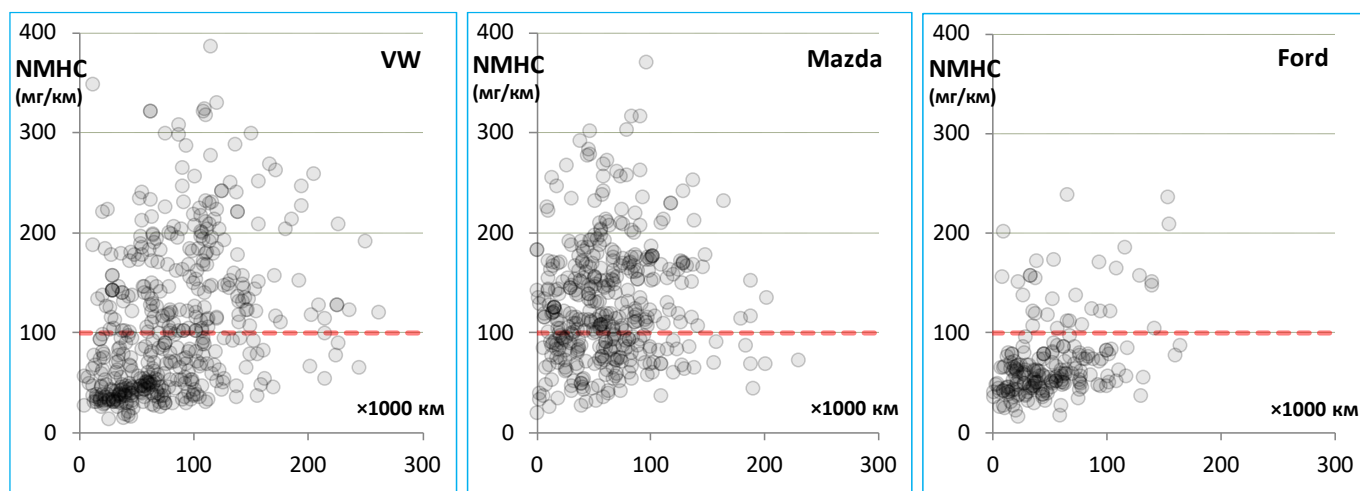


Рисунок 33 – Розподіл масових питомих викидів NMHC залежно від пробігу

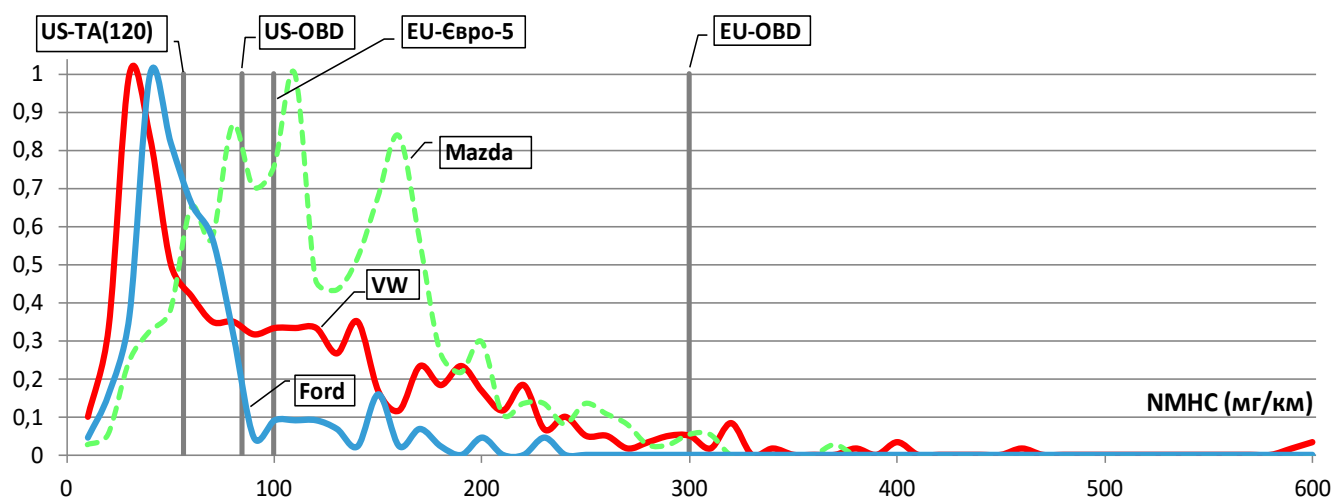


Рисунок 34 – Порівняння розподілу масових питомих викидів NMHC

Позначення «ТА(120)» на рис. 30–34 до вертикальних ліній відповідає гранично-допустимим нормам викидів у перші 120 тис. міль для затвердження типу, позначення «OBD» – гранично-допустимим значенням, за яких система OBD має сигналізувати про технічну несправність.

Отримано нові залежності погіршення екологічних властивостей автомобілів по мірі збільшення їх загального пробігу. 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.

Шостий розділ присвячений підвищенню ефективності використання енергії та зменшення забруднення атмосферного повітря ДТЗ шляхом нормування питомих витрат енергії в експлуатації. Проведено дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації на споживання палива автомобілями з метою розроблення науково обґрунтованих моделей прогнозування споживання палива і вдосконалення системи нормування витрат палива на автомобільному транспорті, надання рекомендацій щодо методів раціонального використання енергоносіїв.

Зокрема, встановлено, що найбільш економічний режим сталого руху сучасних легкових автомобілів знаходиться в діапазоні швидкостей від 50 до 65 км/год (рис. 35). Отримано залежності питомої витрати палива від швидкісного режиму як в умовах сталого руху, так і в елементарних їздових циклах (рис. 36), що надають оцінки можливої економії також в міських умовах залежно від довжини циклу.

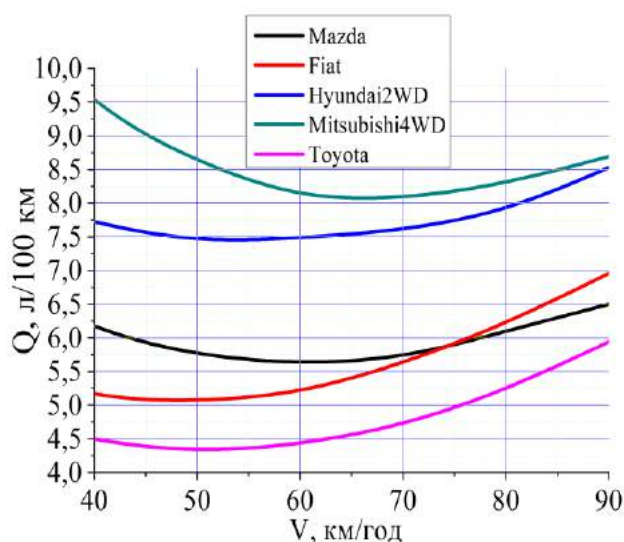


Рисунок 35 – Паливні характеристики сталого руху сучасних автомобілів

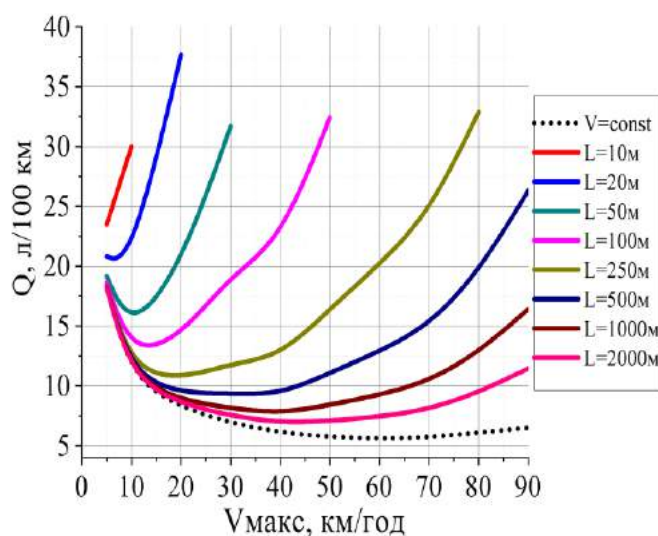


Рисунок 36 – Витрата палива у фрагменті елементарного їздового циклу

Отримано залежності питомої витрати палива від температури оточуючого середовища. На рис. 37, як приклад, показано експериментально отриману залежність питомої витрати палива від пробігу при русі в умовах міста. Показано, що зміна температури оточуючого середовища в межах від -11°C до $+11^{\circ}\text{C}$ практично не впливає на питому витрату палива вже після 10 км пробігу. В той же час температура оточуючого середовища суттєво впливає на питому витрату палива при поїздках на короткі відстані. Експлуатаційні витрати змінюються в широких межах, що ускладнює нормування. На рис. 38 наведено один із найбільш показових прикладів зміни питомої витрати палива (л/100км) залежно від умов руху.

Досліджено характеристики розподілу витрат палив залежно від умов руху і випадкових факторів, з вимірюванням миттєвої витрати палива та швидкості руху із поточним записом з інтервалом близько 57 мс. Досліджено вплив манери керування ДТЗ на витрату палива в міських умовах. Результати випробувань довели, зокрема, що навіть «помірно агресивна» манера керування призводить до перевитрати на 10...28% у порівнянні зі звичайним рухом у транспортному потоці. Агресивна манера керування може збільшити витрату палива більше ніж на 30% без отримання принципово суттєвих переваг у середній швидкості пересування містом. Застосування техніки «Еко-драйву» на цьому ж маршруті в цей же період часу дозволило отримати економію на рівні 21...28%. Важливим чинником впливу на витрату палива ДТЗ в умовах руху по місту, що також досліджено, є година доби.

Отримані результати досліджень дозволили визначити основні напрями удосконалення системи нормування витрат палива на автомобільному транспорті.

Розроблено принципово нову редакцію галузевого нормативного документу «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті», затверджену Мінінфраструктури у 2012 р., що пройшла успішну апробацію. В авторській частині офіційного друкованого видання цього нормативного документу викладено численні запроваджені нововведення, що надали дійові інструменти для підвищення ефективності використання енергії та, опосередковано, зменшення забруднення атмосферного повітря.

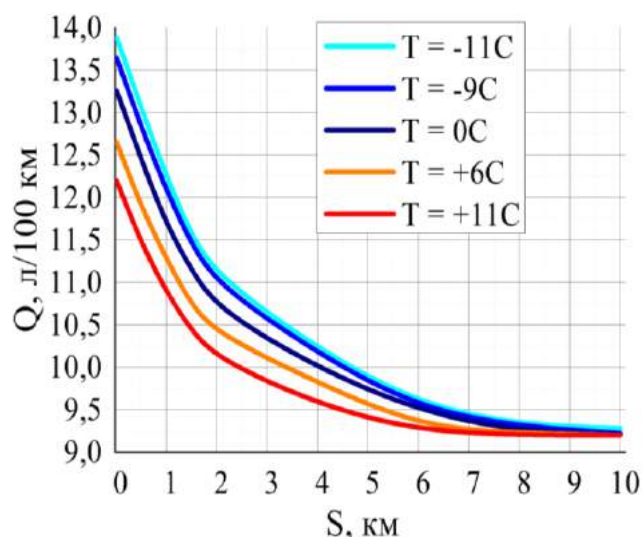


Рисунок 37 – Витрата палива від пробігу за різних температур оточуючого середовища при русі в умовах міста (після холодного старту)

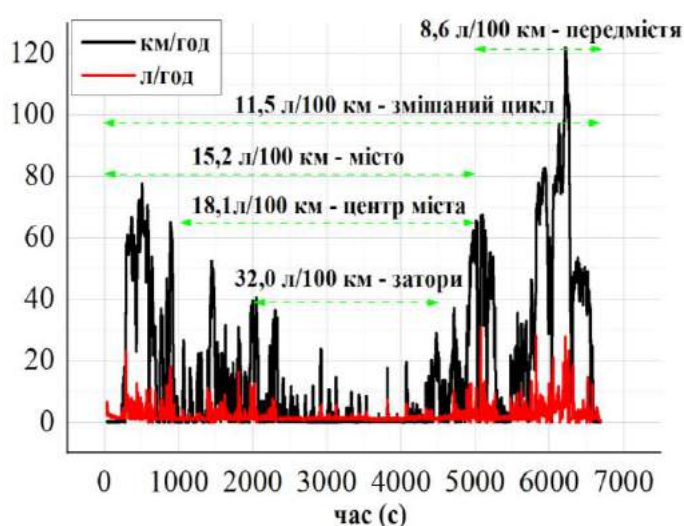


Рисунок 38 – Приклад зміни усередненої питомої витрати палива (л/100км) та миттєвої годинної витрати палива залежно від умов руху

Розроблена система нормування витрати електроенергії електромобілями та отримані залежності пробігу на одній зарядці в різних експлуатаційних умовах, що успішно пройшли апробацію на підприємствах.

Запропоновано принципи впровадження у перспективі також компаративної системи контролю питомого споживання енергії ДТЗ в експлуатації, що ґрунтується на технологіях оперативного надання власникам ДТЗ розгорнутої інформації для прийняття рішень з врахуванням наявних резервів більш раціонального використання енергоносіїв в певних експлуатаційних умовах.

У цьому розділі вирішуються проблемні питання інвентаризації споживання енергетичних ресурсів, викидів парникових газів і токсичних забруднювальних речовин парком ДТЗ в Україні та моніторингу стану забруднення атмосферного повітря.

Відтворення відсутніх статистичних даних щодо кількості ДТЗ, що перебувають в активній експлуатації, детальної структури парку відповідно до вимог МГЕЗК і методики Європейського агентства навколишнього середовища, розрахунки викидів парникових газів та інших ЗР (більше 100 видів) з використанням програмного продукту COPERT вперше було здійснено в Україні автором на виконання завдання відновлення участі країни в механізмах Кіотського протоколу.

Здійснено роботи з верифікації та уточнення з використанням аналізу часових рядів офіційних обсягів споживання моторних палив транспортним сектором в період 1990–2015 рр. 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 вирішенні завдань прогнозування (приклад на рис. 39 і рис. 40).

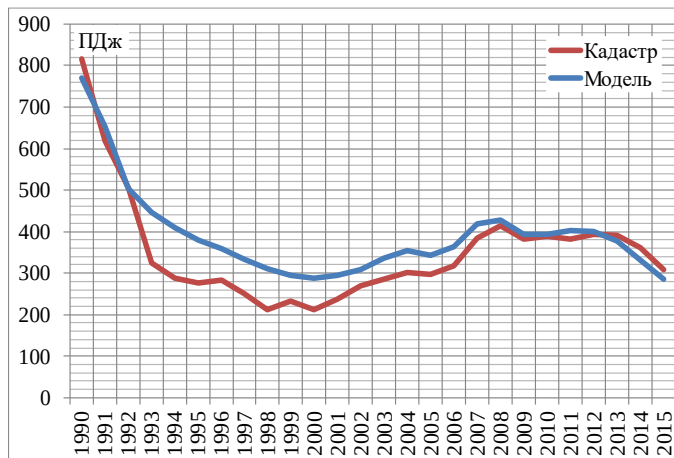


Рис. 39 – Споживання енергії (ПДж) дорожнім транспортом (Кадастр 2017 р. подання та Модель)

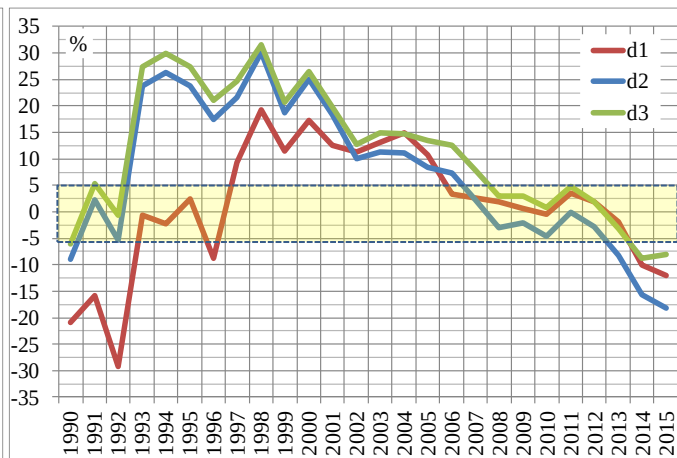


Рис. 40 – Різниця (d) між Моделлю і Кадастром щодо споживання енергії дорожнім і позашляховим транспортом, %

Різниця між моделлю і Кадастром щодо сумарного споживання енергії бензинів і дизельного палива дорожнім і позашляховим транспортом (d1) не перевищує 5% у 1993-1995 рр. та у 2006-2013 рр., щодо сумарного споживання енергії бензинів і дизельного палива виключно дорожнім транспортом (d2) не перевищує 5% у 1991-1992 рр. та у 2007-2012 рр., щодо сумарного споживання енергії всіх видів моторних палив (бензинів, дизельного палива, стисненого природного газу та зрідженого нафтового газу) виключно дорожнім транспортом (d3) 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 Держстатом.

Вперше здійснено відтворення даних щодо структури та середніх національних значень вмісту вуглецю та нижчої теплоти згоряння моторних палив на ринку країни в період 1990-2014 рр. відповідно до вимог, що висувалися МГЕЗК до України. Теоретичний підхід базується на оцінці хімічної структури кожного компонента палив, зокрема суміші різних вуглеводнів та їх властивостей, а також пропорцій кожного компоненту в кінцевій рецептурі палива. Для розрахунків було зібрано з різних джерел та систематизовано фізико-хімічні властивості всіх основних компонентів моторних палив, а також інформацію щодо технологій виробництва

моторних палив, сировини, та ринку моторних палив в Україні. Метод враховує вміст вуглецю, водню, кисню та сірки в кожному окремому вуглеводні, його масову щільність та термодинамічні властивості, а саме теплоту згоряння, що розраховувалася за відомою формулою Менделєєва. Отримані значення (окремо за кожний рік в період 1990 – 2014 рр.) впроваджено в Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні. В середньому для наявних на ринку країни бензинів в період 1990-2014 рр. нижня теплота згоряння та вміст вуглецю коливалися в межах 42,93...43,41 МДж/кг, 843,5...862,1 г(С)/кг, 19,65...19,86 г(С)/МДж та дизельних палив – 42,87...43,11 МДж/кг, 864,8...866,2 г(С)/кг, 20,06...20,19 г(С)/МДж. Значення, отримані станом на 2014 р., за відсутністю наразі інших даних, використовують також на наступні роки, а саме для бензинів – 43,04 МДж/кг, 845,8 г(С)/кг, 19,65 г(С)/МДж та дизельних палив – 43,05 МДж/кг, 866,2 г(С)/кг, 20,12 г(С)/МДж.

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 здійснено на базі європейської технології THOR-Air-PAS, переданої Орхуським університетом (Данія) із наступним покращенням просторової роздільної здатності зі стандартних 1000×1000 м до 250×250 м. Для моделювання відтворено детальні вихідні дані щодо структури парку ДТЗ, що пересуваються містом, з виокремленням транзитного транспорту, його структури та якості палив, викидів від потоків «внутрішніх» і транзитних ДТЗ, та викидів ЗР іншими пересувними та основними стаціонарними і розподіленими джерелами, зокрема, станом на базовий рік.

На рис. 41 показано зображення розподілу фонових концентрацій забруднювачів (на прикладі NO_x), що є складовою моделі, що умовно характеризують «базовий» стан забруднення на рівні дахів будинків. Концентрації в окремих точках, зокрема, уздовж доріг, під дію яких підпадають мешканці міст, розраховано з врахуванням локальних умов розсіювання забруднювачів.

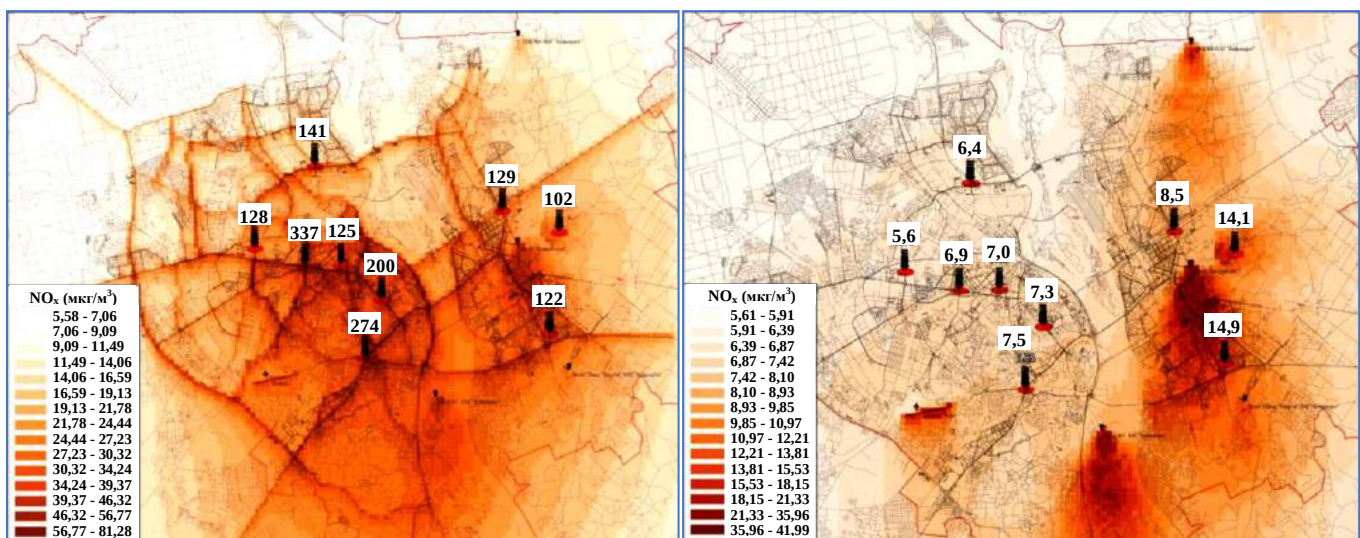


Рисунок 41 – Приклад моделювання концентрацій ЗР (NO_x , $\mu\text{g}/\text{m}^3$) в повітрі міста Києва за різними варіантами управління

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. Наприклад, 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): за NO_x – 71,6%; за SO_2 – 56,3%; за CO – 65,5%; за $\text{PM}_{2.5}$ – «лише» 12,3%. В той же самий час усереднений «внесок» дорожнього транспорту у забруднення 9-ти обраних характерних зон міста Києва складав: за NO_x – 93,7%; за SO_2 – 92,1%; за CO – 86,4%; за $\text{PM}_{2.5}$ – 77,7%.

Встановлено, що за сценарієм впровадження екологічно сприятливого транспорту та перспективних транспортних систем в цілому є можливим в майбутньому кардинально зменшити концентрації ЗР в місцях масового зосередження людей у місті Києві: NO_x – до 20 разів; SO_2 – до 4,5 разів; CO – до 8 разів; $\text{PM}_{2.5}$ – до 14 разів.

Отримані 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.

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 CO 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 CO₂, ймовірно, зростуть до 52,2 млн. т та вже наблизатимуться надалі до 100% від рівня 1990 р. Орієнтовно у 2031 р. викиди CO₂ 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 природне оновлення парку;

- встановлено, що вплив реалістичного збільшення кількості електромобілів не відіграватиме помітної ролі на споживання енергії (та викиди CO₂) 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 Україні, 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 «MT-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 повнопоточним 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; $\text{PM}_{2.5}$ – 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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати

У виданнях, індексованих у Web of Science і Scopus:

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> (Springer Nature, Web of Science).

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 (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 (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 (Scopus).

У вітчизняних фахових і закордонних наукових виданнях, зокрема:

5. 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).

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

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

8. Клименко О.А., Соцький В.С., Щелкунов А.В., Кириченко Р.М., Агеев 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).

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Редзюк А.М., Клименко О.А. Щодо стратегії підвищення ефективності використання енергії дорожнім транспортом. Автошляховик України, 2018, № 4(256), С. 2-11.

14. 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.

15. 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.

16. М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, В.П. Волков, О.К. Гришук, М.П. Цюман, І.В. Гришук, Г.О. Вайганг, О.А. Клименко. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / Під редакцією Дмитриченка М.Ф. – Київ: Вид-во НТУ, 2016. – 213 с.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Клименко О.А., Кудренко О.В. Частково-потокоса система з розширеним динамічним діапазоном для визначення викидів часток двигунами // Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. № 1 (62) 2010.- С.33-37.

23. А.М.Редзюк, В.Б.Агеев, В.С.Устименко, О.А.Клименко. Пропозиції щодо екологічної класифікації колісних транспортних засобів та її застосування. Автошляховик України, 2006, № 5. С. 3-8.

24. 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.

25. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агеев 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.

26. 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., Агеев 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.

27. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф., Агєєв 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.

28. Нормирование потребления топлива автомобильным 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. С. 44-46.

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації, зокрема:

29. 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.

30. 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 «Державтотранс-НДІпроект», 2020. – 96 с.

31. 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.

32. 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.

33. 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.

34. Редзюк А.М., Клименко О.А., Тарабан С.М. Потенціал зменшення забруднення довкілля міст шляхом впровадження міжнародних стандартів і сучасних технологій у транспортній сфері. Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»). Миколаїв, 2017. С.45-49.

35. Редзюк А.М., Клименко О.А., Тарабан С.М. Розробка математичної моделі оцінки якості атмосферного повітря на базі європейської технології THOR-Air-PAS.

Матеріали II всеукраїнської науково-практичної конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»), Миколаїв, 2016. С.28-30.

36. 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. Харків, 2014 р.

37. Редзюк А.М., Агеев 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». Київ, 2014 р. С.102-110.

38. Агеев В.Б., Устименко В.С., Клименко О.А., Духота О.О. Изменения в системе нормирования потребления моторных топлив на автомобильном транспорте Украины. VII міжнародна науково-практична конференція «Управління підвищенням енергоефективності на транспорті». Одеса, 2013. – 48-53 с.

39. Редзюк А.М., Агеев 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.

40. 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.

41. Клименко О.А., Чиж. С.М., Сафронов А.М. Новый метод компенсации гистерезиса в засобах вимірювальної техніки. Автошляховик України, збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми автомобільного транспорту», 2005р., С. 42-43.

42. 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.

*Публікації, які додатково відображають
наукові результати дисертації, зокрема патенти:*

43. «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.

44. «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потоківих 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.

45. «Спосіб частково-потокowego 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.

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

47. «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.

48. «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.

49. «Спосіб повно-потокowego 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.

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

51. «Спосіб частково-потокowego 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.

52. «Спосіб частково-потокowego 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.

53. «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.

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

55. «Спосіб диференційного вимірювання витрати проби відпрацьованих газів двигунів в частково-потокowych 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.

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. – Національний транспортний університет МОН України. – 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 (ДТЗ). Результати теоретичних та експериментальних досліджень, створені у роботі технології, методи, обладнання, та розроблені 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.

Створено комплекс технологій, обладнання та методів досліджень ефективності використання енергії та питомих викидів забруднювальних речовин ДТЗ. Запропоновано прогресивну систему регулювання екологічних властивостей ДТЗ. Вдосконалено систему нормування витрат енергії в експлуатації. Вирішено комплекс проблем, що стосуються національної інвентаризації викидів парникових газів транспортом.

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

АННОТАЦИЯ

Клименко А.А. Системное управление повышением эффективности использования энергии и уменьшением загрязнения атмосферного воздуха дорожными транспортными средствами. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Национальный транспортный университет МОН Украины. – Киев, 2021.

Диссертационное исследование направлено на разработку теоретических основ, методов и технологий системного управления повышением эффективности использования энергии и уменьшением загрязнения атмосферного воздуха дорожными транспортными средствами (ДТС). Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований, созданные в работе технологии, методы, оборудование и разработанные предложения по государственному регулированию в определенной сфере направлены на решение важной научно-прикладной проблемы реализации системного управления повышением эффективности использования энергии и уменьшением загрязнения атмосферного воздуха ДТС.

Разработана концепция, система, которая ее реализует, математический аппарат и математические модели системного управления эффективностью использования энергии и загрязнением атмосферного воздуха ДТС.

Определены оптимальные направления и границы целесообразного управления эффективностью использования энергии и загрязнением атмосферного воздуха ДТС в Украине. В частности, получены научно обоснованные прогнозы изменения структуры парка транспортных средств, потребление различных видов энергии и выбросов CO_2 дорожным транспортом в Украине на период до 2050 г., принятые в качестве основы для обоснования и установления целей второго национально определенного вклада Украины в рамках Парижского климатического соглашения в части транспорта, и, соответственно, оптимальной, научно обоснованной стратегии определения достижимого уровня и реализации комплекса мероприятий по выполнению международных обязательств Украины в сфере изменения климата.

Обеспечено развитие технологий, оборудования и методов экспериментальных и расчетных исследований эффективности использования энергии и удельных выбросов загрязняющих веществ ДТС. Впервые в Украине получены возможности по проведению испытаний ДТС и их двигателей в соответствии с требованиями международных технических регламентов в этой сфере. Предоставлены принципиально новые и уникальные, ранее не доступные в стране, возможности для осуществления экспериментальных и расчетных исследований ДТС и их двигателей, моторных топлив различных рецептур и т.п., проведение научных исследований в различных сферах.

Предложена прогрессивная система регулирования экологических свойств ДТС.

Обеспечено создание и широкое внедрение инструментов для повышения эффективности использования энергии и уменьшения загрязнения атмосферного воздуха ДТС совершенствованием системы нормирования и управления потреблением энергии в эксплуатации.

Подучил решение комплекс приоритетных, продиктованных международными требованиями, проблемных задач, связанных с необходимостью реконструкции данных в отношении развернутой структуры и активности парка транспортных средств в Украине, национальной инвентаризацией потребления энергетических ресурсов, выбросов парниковых газов и токсичных загрязняющих веществ, мониторингом состояния загрязнения атмосферного воздуха.

Разработаны рекомендации в отношении комплексного дальнейшего внедрения и развития разработанных в работе системных подходов и технологий, обеспечивающих системное управление повышением эффективности использования энергии и уменьшением загрязнения атмосферного воздуха ДТС.

В целом, представленные результаты теоретических и экспериментальных исследований, созданные в работе технологии, методы, оборудование и разработанные предложения по государственному регулированию в определенной сфере, а также внедренные нормативно-правовые акты, реализуют системное управление повышением эффективности использования энергии и уменьшением загрязнения атмосферного воздуха ДТС.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, дорожные транспортные средства, эффективность использования энергии, загрязнение атмосферного воздуха, системное управление.

ABSTRACT

Klymenko O.A. 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 developed 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.

A set of technologies, equipment and methods for research of road vehicle`s energy efficiency and specific emissions of pollutants has been created. A progressive system for regulating the environmental properties of road vehicles is proposed. The system of rationing of energy consumption in operation has been improved. A set of problems related to the national inventory of greenhouse gas emissions from transport has been solved.

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

Підписано до друку 02.04.2021 р. Формат 60х90 1/16.
Папір офсетний. Друк лазерний.
Набір комп'ютерний. Умовн. др. арк. 1,9.
Наклад 100 прим. Зам. № 0204/01.

Надруковано ФОП Гузік О.М.
Реєстраційний номер №2705814113
м. Київ, вул. Б. Гаврилишина, 16
Тел.: 338-16-61.