



# АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ



УДК 621.43.068

- © А.М. Редзюк, канд. техн. наук, директор,
- © О.А. Клименко, канд. техн. наук, заст. зав. лабораторії,
- © О.В. Кудренко, провідний інженер (ДП “ДержавтотрансНДІпроект”)

## ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВИХ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ДВИГУНАМИ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Анотація.** Висвітлено недоліки та принципові обмеження стандартної технології визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів на основі повно-потоккової системи відбору проб постійного об'єму (системи CVS), що використовується згідно з вимогами міжнародних технічних регламентів у цій галузі.

**Ключові слова:** відпрацьовані гази, забруднюючі речовини, питомі масові викиди, повно-потоккові системи, системи відбору проб постійного об'єму, системи CVS, двигуни внутрішнього згорання, колісні транспортні засоби.

**Аннотация.** Освещены недостатки и принципиальные ограничения стандартной технологии определения массовых выбросов загрязняющих веществ двигателями колесных транспортных средств на основе полно-потокковой системы отбора проб постоянного объема (системы CVS), которая используется в соответствии с требованиями международных технических регламентов в этой области.

**Ключевые слова:** отработавшие газы, загрязняющие вещества, удельные массовые выбросы, полно-потокковые системы, системы отбора проб постоянного объема, системы CVS, двигатели внутреннего сгорания, колесные транспортные средства.

**Annotation.** It is described disadvantages and fundamental limitations of the standard technology for mass emissions determination by wheeled vehicle engines based on full-flow constant volume sampler (CVS) systems, which are used in accordance with international technical regulations in this area.

**Keywords:** exhaust gases, pollutants, specific mass emissions, full-flow systems, constant volume sampler systems (CVS systems), internal combustion engines, wheeled vehicles.

### Вступ

Цією публікацією відкривається цикл статей, в яких буде висвітлено результати досліджень ДП “ДержавтотрансНДІпроект” за напрямом вирішення проблеми визначення і нормування масових викидів забруднюючих речовин двигунами сучасних колісних транспортних засобів з низьким рівнем емісії при їх випробовуванні в їздових циклах.

**Актуальність.** Викиди забруднюючих речовин від автотранспорту становлять більше третини від загального обсягу викидів до повітряного басейну України та більше 90% від усіх пересувних джерел. Окрім того, автомобілі є основним чинником забруднення навколишнього природного середовища саме у місцях великого зосередження людей, що значно підсилює негативний вплив автотранспорту, перетворюючи його



на домінуючий. Адже з викидами колісних транспортних засобів (далі – КТЗ) передусім пов'язують погіршення здоров'я мешканців великих міст та відповідні багатомільярдні щорічні збитки суспільства (за експертними оцінками – 20...30 млрд грн щороку в Україні). До того ж транспорт є основним споживачем моторних палив нафтового походження і вагомим емітентом парникових газів (диоксиду вуглецю, закису азоту, метану) та їхніх прекурсорів. За даними ЄС, внаслідок викидів автотранспортом лише одного компонента відпрацьованих газів (далі – ВГ) – частинок, щорічно вмирає у 7 разів більше людей, ніж гине внаслідок дорожньо-транспортних пригод.

Ефективним шляхом вирішення зазначених проблем у світі є запровадження технічного регулювання викидів забруднюючих речовин від КТЗ. Велика увага надається нормуванню передусім викидів з ВГ частинок (шляхом нормування їхніх питомих масових викидів та кількості частинок у ВГ, а також опосередковано через нормування димності ВГ), оксидів азоту, сумарних і неметанових вуглеводнів, оксиду вуглецю. У США додатково нормують викиди неметанових органічних газів, ацетальдегіду, формальдегіду та інших компонентів ВГ. Останніми роками технологічно розвинені країни поетапно впроваджують вимоги щодо паливної економічності КТЗ та викидів ними парникових газів.

Законодавче обмеження викидів забруднюючих речовин автомобілями можливе за наявності відповідного високотехнологічного обладнання для їх визначення відповідно до вимог міжнародних стандартів і технічних регламентів. Відповідне обладнання необхідне для розроблення екологічно сприятливої продукції, підтвердження її відповідності задля початку постачання на ринок (сертифікації), здійснення передбачених міжнародною практикою процедур періодичного контролю відповідності виробництва продукції, забезпечення відповідності КТЗ екологічним вимогам протягом всього терміну експлуатації, забезпечення ефективного з погляду екології розширення використання альтернативних моторних палив тощо.

Варто зазначити, що двигуни великовантажних автомобілів та автобусів випробовуються окремо на моторних стендах і сьогодні міжнародними стандартами дозволяється замість громіздких і високовартісних повно-потоківих систем використовувати частково-потоківі системи (мікротунелі). Така частково-потоківі система оригінальної конструкції моделі МТ-010 була створена ДП “ДержавтотрансНДІпроект”, пройшла метрологічну атестацію, та використовується для випробовування двигунів у лабораторії дослідження використання палив та екології.

Повно-потоківі системи відбору проб постійного об'єму для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами КТЗ (CVS – Constant Volume Sampler system) є сьогодні обов'язковою (безальтернативною) технологією для сертифікаційних випробовувань у ЄС та США при визначенні відповідності екологічним нормам КТЗ, що випробовуються у їздових циклах на моделюючих роликівих стендах.

Тому, для випробовування КТЗ повною масою до 3,5 т в їздових циклах за стандартами ЄС (та до 4,5 т за стандартами США), в інституті з'явилась нагальна потреба у повно-потоківій системі відбору проб постійного об'єму (системі CVS).

Обладнання для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин КТЗ виробляють декілька фірм (сьогодні цей ринок у світі поділили фактично дві компанії – японська фірма HORIBA та австрійська фірма AVL). Однак його вартість практично недоступна для більшості вітчизняних лабораторій. Жоден з українських автовиробників не має такого обладнання.

Крім того, як буде розкрито нижче, сама концепція загальноприйнятої системи CVS має принципові недоліки та потребує перегляду для визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами сучасних КТЗ із низьким рівнем емісії та запровадження прогресивніших екологічних норм.

Розроблення нових технологій і створення відповідного перспективного конкурентоспроможного обладнання для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин КТЗ є актуальним завданням.

### Основна частина

*Спрощений опис концепції стандартної повно-потоківі системи відбору проб постійного об'єму.* Концепцію повно-потоківі системи CVS було вперше запроваджено у технічних регламентах США, які були початківцями технічного регулювання викидів від КТЗ. Аналогічні підходи сьогодні визначені відповідними Правилами ЄЕК ООН і директивами ЄС.

Загалом питомі масові викиди газоподібних забруднюючих речовин визначають за їхньою концентрацією у ВГ та витратою ВГ, віднесених до корисної роботи двигуна (у г/кВт×год) або пробігу автомобіля (у г/км або у г/цикл за ранніми нормами).

Однак під час випробовування автомобілів за їздовими циклами на роликівих стендах (або двигунів на моторних стендах за транзйентними циклами) витрата відпрацьованих газів і концентрації в них забруднюючих речовин змінюються дуже швидко і в широких межах. Завдання швидкого безперервного вимірювання повного потоку

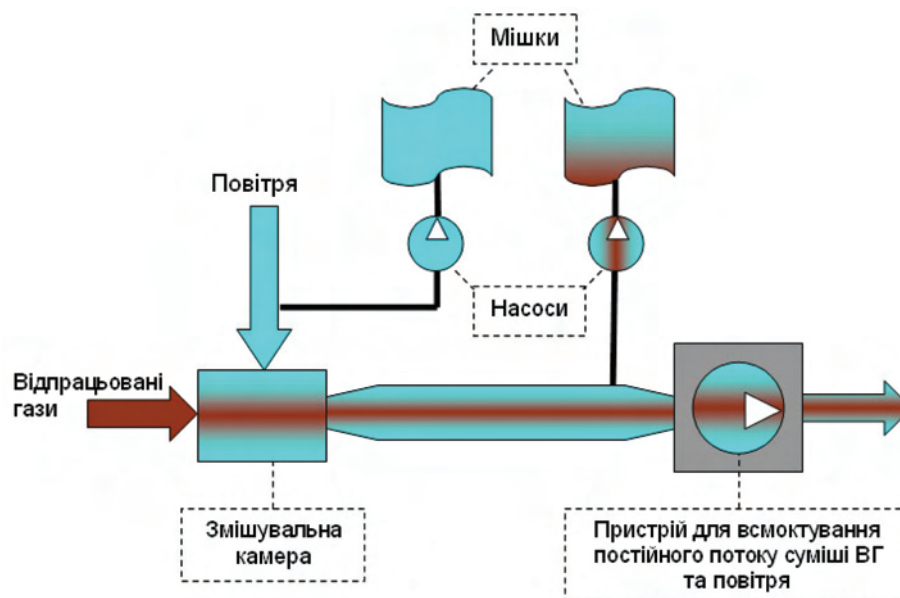


Рис. 1. Спрощена схема системи CVS

нерозбавлених ВГ та концентрацій забруднюючих речовин в них є технологічно складним з огляду на обмежену швидкодію витратомірів та передусім існуючих газоаналітичних систем.

У концепції системи CVS повний потік ВГ розбавляється чистим повітрям та переміщується з ним. При цьому, витрата цієї суміші залишається постійною протягом всієї процедури випробування. При збільшенні кількості ВГ (під час збільшення навантаження двигуна) відповідно зменшується витрата чистого повітря і навпаки. За постійною і відомою витратою суміші повного потоку ВГ і чистого повітря та середніми значеннями концентрацій газоподібних компонентів цієї суміші розраховуються їхні масові викиди (рис. 1).

Для визначення викидів частинок (Particulate Matter – PM) важливим є процес продовження їхнього утворення під час розсіювання компонентів ВГ в атмосферному повітрі та охолодження. Тому системи CVS, наприклад, призначені для випробування автомобілів з дизелями або випробування дизелів, призначених для встановлення на великовантажні автомобілі та автобуси, містять так звані повно-поточковий тунель, що імітує згадані вище процеси. Однією з вимог є контроль температури суміші ВГ і повітря, яка не повинна перевищувати 52 °С на фільтрах уловлювання частинок, а також однорідність (гомогенність) суміші ВГ і повітря у точці відбору проби, яка забезпечується відповідними умовами потоку в тунелі.

За рахунок розбавлення ВГ повітрям забезпечується виконання умови відсутності конденсації водяних парів під час їхнього охолодження.

Для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин ВГ із випускної системи КТЗ протягом всього випробувального їздового циклу розбавляють повітрям і відбирають проби розбавлених ВГ.

Для автомобілів, обладнаних двигунами з примусовим запалюванням, розбавлену пробу ВГ відбирають порціями у спеціальні тедларові мішки. Паралельно здійснюється відбір у мішки проб повітря, яким здійснюється розбавлення повного потоку ВГ.

Для автомобілів з дизелями здійснюють безперервне (інтегрально у потоці) вимірювання концентрацій сумарних вуглеводів Т.НС (в США також оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) та інших компонентів залежно від виду палива). Концентрації інших газоподібних компонентів у складі ВГ автомобілів з дизелями вимірюють зазвичай таким же чином (інтегрально) або відбором у тедларові мішки.

Для визначення масових викидів частинок пробу розчинених ВГ з температурою не вище за 52 °С прокачують через спеціальні фільтри-уловлювачі частинок.

Для автомобілів з дизелями та автомобілів, обладнаних двигунами з примусовим запалюванням з безпосереднім впорскуванням палива у циліндри, відповідно до сучасних стандартів також здійснюється відбір проби ВГ на спеціальне аналітичне обладнання (лічильник частинок) для визначення кількості частинок у ВГ (додатково до вимірювання їхніх масових викидів).

Після завершення випробувального циклу вимірюється концентрація газоподібних забруд-

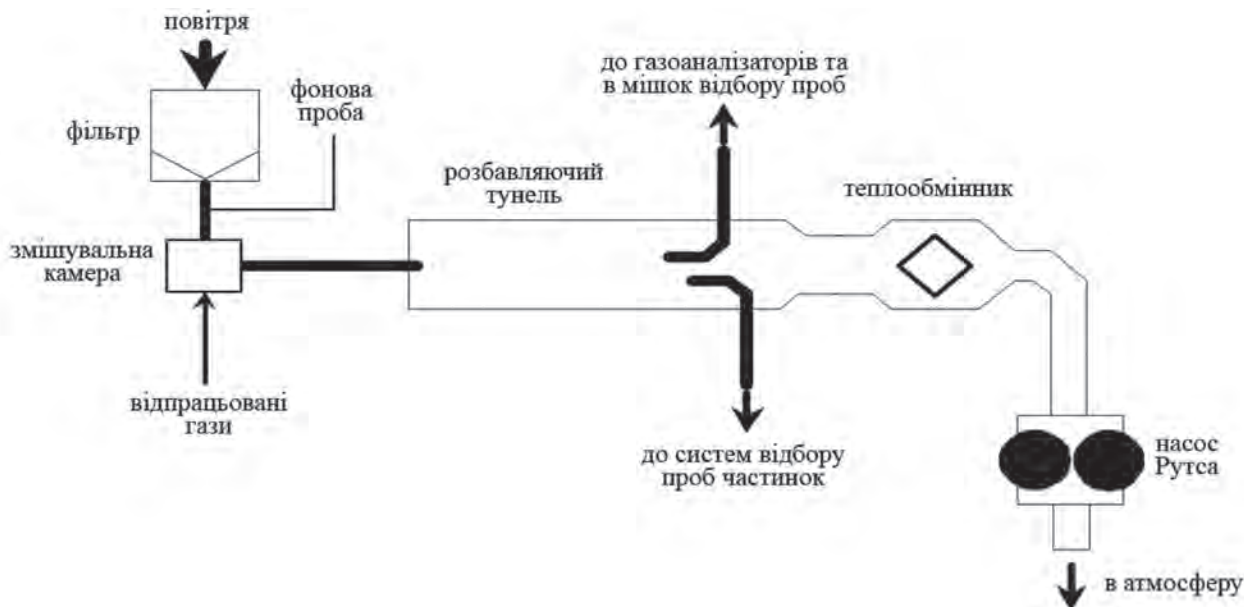


Рис. 2. Спрощена схема системи CVS з об'ємним насосом Рутса (Positive Displacement Pump), наведено зображення з Правил ЄЕК ООН №83

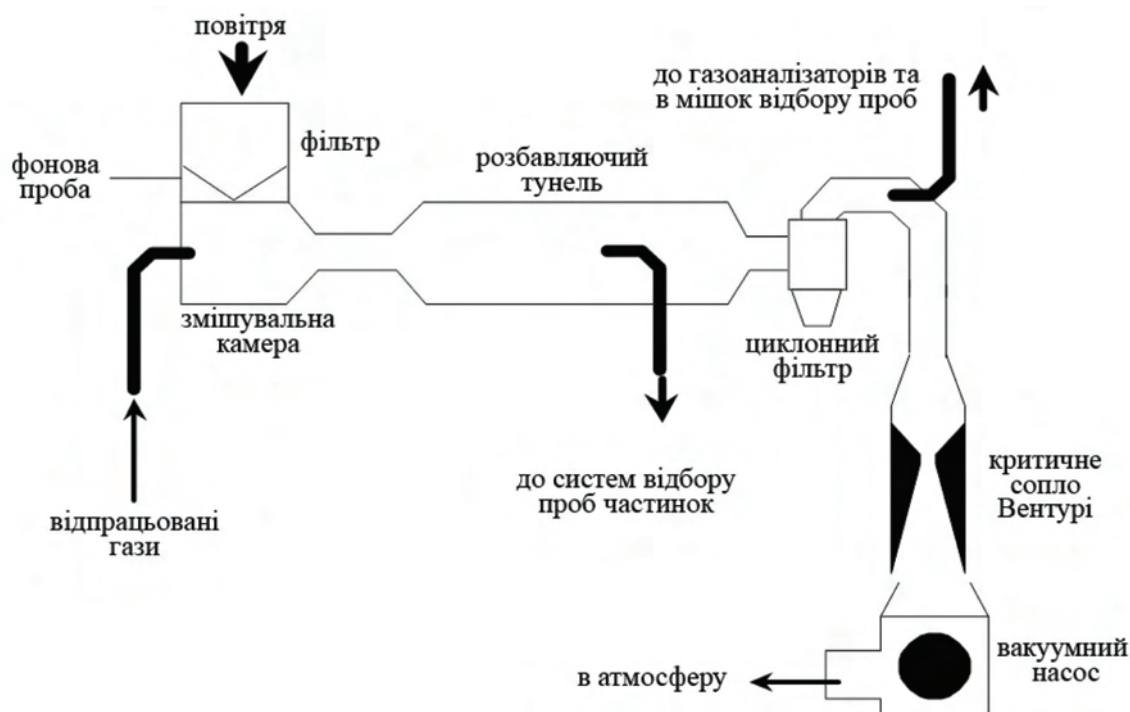


Рис. 3. Спрощена схема системи CVS із соплом Вентурі в критичному режимі руху газу (Critical Flow Venturi), наведено зображення з Правил ЄЕК ООН №83

нюючих речовин (Т.НС, NMHC, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, та інших компонентів) у мішках з розбавленими ВГ (або інтегрально визначається за результатами безпосереднього безперервного вимірювання у потоці проби розчинених ВГ) та у мішках з повітрям і за різницею концентрацій та з урахуванням пройденого на стенді шляху або

виконаної двигуном корисної роботи здійснюється розрахунок питомих масових викидів газоподібних забруднюючих речовин.

Масові викиди частинок (PM) визначають за зміною маси двох послідовно встановлених фільтрів уловлювання частинок і за співвідношенням витрати повного потоку розчинених ВГ та

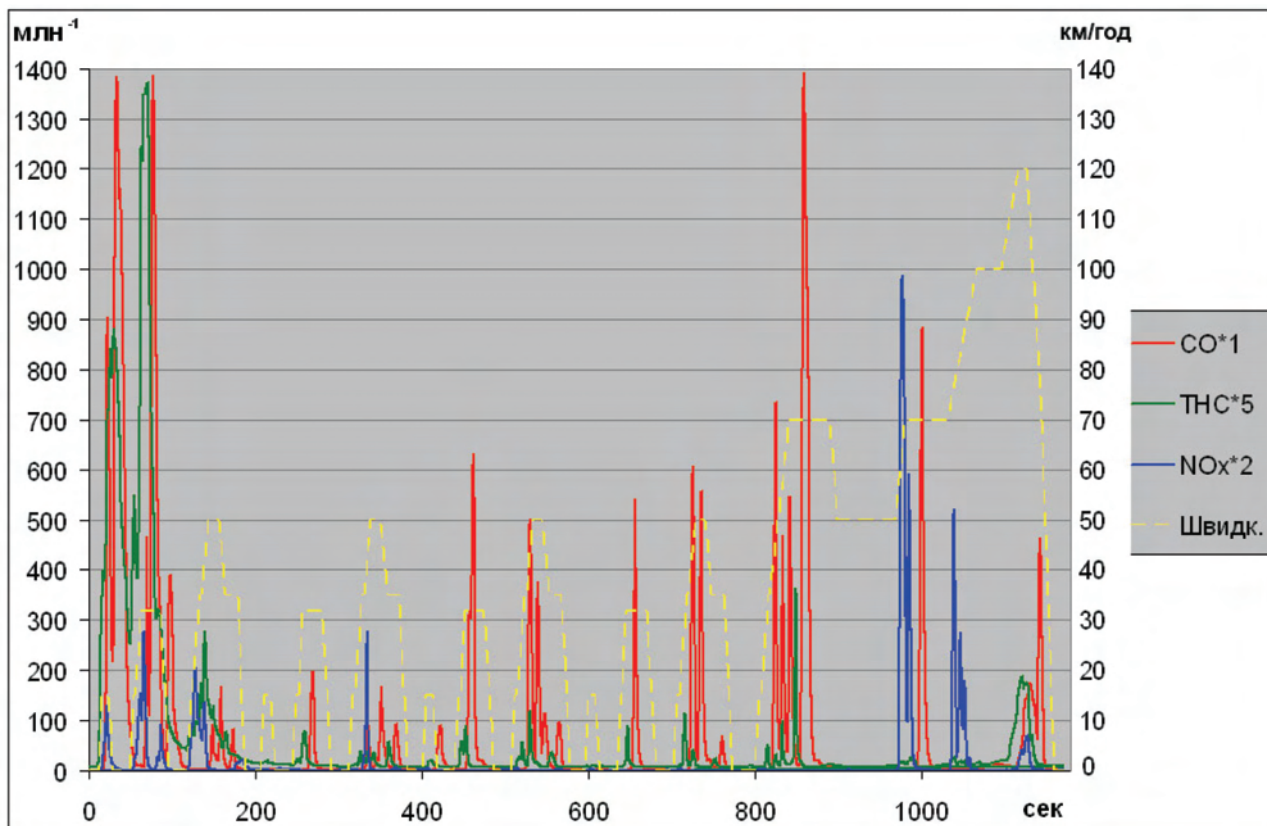


Рис. 4. Приклад зміни концентрацій окремих компонентів ВГ у суміші ВГ та повітря у тунелі CVS при випробовуванні автомобіля за європейським їздовим циклом

витрати потоку проби ВГ, що прокачується через зазначені фільтри-уловлювачі.

Технічними регламентами ЄС та США передбачено два варіанти системи CVS залежно від способу одержання постійного потоку суміші ВГ і повітря: системи з роторним об'ємним насосом (positive displacement pump) та системи з соплами Вентурі у критичному режимі потоку.

У першому варіанті (об'ємний насос) витрата потоку суміші ВГ і повітря задається безпосередньо попередньо відкаліброваним роторним об'ємним насосом (відомий також як насос Рутса). Витрата потоку визначається залежно від швидкості обертання ротору насосу при певних тиску (на вході насосу та диференціальному тиску) і температурі потоку.

У другому (більш поширеному сьогодні) варіанті витрата потоку суміші ВГ і повітря задається набором сопел Вентурі, що працюють в критичному режимі руху газу. Вакуумний насос при цьому створює відповідний перепад тиску на соплах Вентурі для забезпечення критичного режиму руху газу, за умов якого витрата газу майже не залежить від коливань тиску на вході в сопла (що відбуваються під час зміни тиску потоку ВГ на вході в змішувач) та є функцією температури ВГ.

Для стабілізації температури суміші ВГ і повітря використовують відповідні теплообмінні апарати.

З детальним описом технології CVS та численними вимогами до таких систем можна ознайомитися у відповідних міжнародних технічних регламентах, зокрема Правилах ЄЕК ООН №№ 83, 49, 96, 40, 47, відповідних директивах ЄС, CFR40 у США тощо.

*Стислий аналіз недоліків концепції і технології системи CVS.* Передбачені чинними технічними регламентами ЄС і США та наявні на ринку системи мають недоліки, зокрема, вузький діапазон завдання потоку та/або дискретність завдання.

Вузький діапазон завдання потоку призводить до того, що необхідно мати кілька систем CVS для випробовувань різних типів КТЗ. Для випробовувань мопедів, мотоциклів, автомобілів із низьким рівнем емісії забруднюючих речовин необхідні низькі значення потоку CVS, а для вантажівок та автомобілів, що працюють на альтернативних видах палива – високі значення потоку. Дискретність завдання потоку системи з соплами Вентурі не завжди дає змогу підібрати оптимальний коефіцієнт розбавлення для випробовування кожного транспортного засобу, в той час як системи з попередньо відкаліброваним



ротаторним насосом Рутса поступаються їм щодо стабільності та відтворюваності результатів вимірювання.

Представлені на світовому ринку системи CVS, що використовують для сертифікації продукції автомобілебудування, містять громіздкі, дорогі та енергоємні елементи відбору та кондиціювання повного потоку суміші ВГ і повітря та мають високу вартість.

Із запровадженням більш жорстких екологічних вимог на перший план виходить важливе принципове обмеження самої концепції методу відбору проб постійного об'єму.

Мінімально можливу (виходячи з умов відсутності конденсації парів води та максимального допустимої температури потоку на вході у фільтри уловлювання частинок) і постійну протягом всієї випробувальної процедури швидкість потоку суміші ВГ і повітря та, відповідно, мінімальний коефіцієнт розбавлення проби встановлюють, виходячи з найбільш напруженого режиму випробувальної процедури, за якого швидкість потоку ВГ максимальна та мають місце високі концентрації забруднюючих речовин у ВГ. Таким чином, на найбільш напруженому режимі випробувальної процедури (коли має місце мінімальний коефіцієнт розбавлення проби) концентрації багатьох забруднюючих речовин у нерозбавлених (сирих) ВГ та у пробі суміші ВГ і повітря є високими і не існує проблем з точністю їх вимірювання.

На режимах часткових навантажень концентрації окремих компонентів ВГ навіть у нерозбавлених (сирих) ВГ можуть бути досить низькими. Додатково, при зменшенні навантаження двигуна та зменшенні витрати ВГ, збільшується (за постійної витрати суміші ВГ і повітря) коефіцієнт розбавлення проби й, відповідно, ще більш суттєво зменшуються концентрації компонентів ВГ у пробі суміші ВГ та повітря. При цьому, на режимах малих навантажень, коефіцієнт розбавлення проби може становити десятки разів (відповідно в десятки разів зменшуються концентрації забруднюючих речовин у порівнянні з їх значеннями у нерозбавлених ВГ). Таким чином, зменшення на певних режимах концентрації окремих компонентів забруднюючих речовин у ВГ разом зі збільшенням ступеня розбавлення проби робить їхні концентрації дуже низькими. Концентрації окремих шкідливих речовин у розбавлених ВГ можуть бути порівняними (в межах похибки вимірювання газоаналітичного обладнання) або, в окремих випадках за окремими компонентами ВГ, навіть нижчими, ніж їх концентрації у повітрі на вході в систему.

Наведене вище ілюструє **рис. 4**, де подано графіки руху легкового автомобіля за європей-

ським їздовим циклом та зміни концентрацій окремих компонентів ВГ у суміші ВГ і повітря, отриманих ДП “ДержавтотрансНДІпроект” за допомогою системи EMMS-CVS-010 власної розробки.

Варто наголосити, що отримані значення концентрацій забруднюючих речовин та їх характер зміни у часі під час руху за їздовим циклом суттєво залежать від налаштувань програмного забезпечення електронного блоку управління двигуном, обладнаним каталітичним нейтралізатором (відповідно до складу паливно-повітряної суміші, кута випередження запалювання), температури робочої поверхні каталізатора та від інших факторів і не можуть бути пояснені лише його режимом роботи.

Для автомобілів, які відповідають сучасним екологічним вимогам ЄС і США, після швидкого прогріву каталітичного нейтралізатора подальше вимірювання багатьох забруднюючих речовин у класичній системі CVS вже є практично неможливим із прийнятною точністю. Більшість шкідливих викидів, таким чином, вимірюється протягом першої фази виконання циклу (під час прогрівання активної поверхні каталізатору (каталізаторів) та датчиків вільного кисню у ВГ).

Вочевидь концентрації забруднюючих речовин у розбавлених в системі CVS ВГ змінюються в дуже широких межах. Різниця у концентраціях на різних ділянках їздового циклу (**рис. 4**) складає сотні разів, причому на окремих режимах концентрації забруднюючих речовин у розчинених ВГ є порівняними з їх концентраціями у повітрі на вході в CVS або знаходяться поза межами чутливості газоаналізаторів, що є суттєвою проблемою та підтверджує принциповий недолік концепції системи CVS.

### Висновки

Концепція стандартної (передбаченої міжнародними технічними регламентами) системи відбору проб постійного об'єму для визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин двигунами КТЗ має принциповий недолік, який ускладнює або навіть унеможливує визначення з прийнятною точністю масових викидів забруднюючих речовин двигунами сучасних і перспективних КТЗ із низьким рівнем емісії. Задля встановлення прогресивних екологічних вимог до КТЗ існує потреба в розробленні нових технологій визначення питомих масових викидів забруднюючих речовин КТЗ.

*Викладення концепції і особливостей конструкції повно-потокової системи визначення масових викидів забруднюючих речовин ДП “ДержавтотрансНДІпроект” моделі EMMS-CVS-010 буде надано у наступній публікації.* ✓