

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 629.341

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.98.0.144

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАЗМОХІМІЧНОГО МЕТОДУ
ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ В САЛОНІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУБажинов О. В.¹, Кравцов М. М.¹, Кудін Д. В.², Таран Г. В.², Гаск Є. А.³¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет²Інститут плазмової електроніки та нових методів прискорення

Національний науковий центр «Харківський Фізико-Технічний Інститут»

³Державний біотехнологічний університет

Анотація. Дослідження підтвердили можливість використання низькотемпературної плазми без бар'єрного газового розряду для очищення повітря в салоні транспортного засобу від домішок токсичних вуглеводнів. Виявлено, що використання плазмохімічного методу очищення повітря з використанням низькотемпературної плазми без бар'єрного газового розряду дозволяє досягнути 100 % (досягається рівень нижче похибки вимірювання) окиснення токсичних домішок вуглеводнів у повітрі до нетоксичних оксидів. Встановлено, що альдегіди є проміжними продуктами окиснення етанолу та метанолу, а потім відповідні кислоти, а кінцевими продуктом є оксид вуглецю та вода. Встановлено, що концентрація кінцевих продуктів зменшується, а концентрація проміжних підвищує рівень потужності, який вкладено у розряд, що зростає.

Ключові слова: транспортний засіб, озон, газовий розряд, концентрація, домішки.

Вступ

Сучасний транспортний засіб є, з одного боку, важливим досягненням науково-технічного прогресу, який забезпечує людину мобільністю та комфортом руху, а з іншого – викликає негативний вплив як на зовнішнє середовище, так і на людину. Забруднення атмосферного повітря на дорогах і вулицях міста (і відповідно в кабінах та салонах транспортних засобів) до 5...15 і більше разів перевищує гігієнічні нормативи [1]. Установка відповідних приладів у салонах транспортних засобів є рішенням проблеми захисту населення від впливу забрудненої атмосфери в салонах цього транспорту, оскільки їх салонні фільтри не очищують повітря від найбільш токсичних компонентів [2].

Аналіз публікацій

У роботі [3] досліджувалося окиснення домішок бензолу в атмосферному повітрі під дією низькотемпературної плазми коронного газового розряду позитивної полярності. При зростанні амплітуди імпульсів напруги, частоти слідування імпульсів та температури плазмохімічного реактора ступінь розкладання бензолу зростає. При напрузі 36 кВ, частоті слідування імпульсів – 80 Гц, концентрації бензолу у повітрі на рівні 1440 мг/м³, складова бензол-повітряної газової суміші 640 мл/хв, ступінь розкладання бензолу сягав

– 98 %. При підвищенні початкової концентрації бензолу в повітрі і збільшенні витрати бензол-повітряної газової суміші значення конверсії бензолу зменшується.

Окрім стандартних систем з використанням діелектричного бар'єру, активно вивчаються різноманітні розрядні системи, які поєднують риси різних типів розрядів. Так, у роботі [4] досліджувалося розкладання ряду інших складних вуглеводнів із використанням системи з капілярним плазмовим електродом. Показано залежність загальної ефективності розкладання від вкладеної енергії та типу вуглеводневої молекули, а також досліджено вплив будови різних типів вуглеводнів на ефективність розкладання у суміші. Низькотемпературна плазма утворювалася у системі з капілярним плазмовим електродом, принципова відмінність якого від бар'єрного газового розряду полягає у наявності каналів у діелектричному бар'єрі [5, 6]. Канали (капіляри) мають діаметр в межах від 0,01...1 мм. Плазмові струмені піднімаються крізь капіляри і формують «плазмовий електрод» для протікання основного розряду [7]. Характеристики розряду: струм - до 2 А, щільність струму - 80 мА/см², щільність електронів – 10¹² на см³, питома щільність потужності, що вкладається у розряді, 1,5 Вт/см³ в гелії і 20 Вт/см³ в повітрі, газова температура – 425...500 К у повітрі. Показано, що зі

зростанням вкладеної енергії зростає ефективність розкладання. Встановлено, що між максимумом ефективності розкладання та енергією іонізації для хімічно схожих сполук існує зворотна залежність [8, 9].

Хімічні, сорбційні та біологічні методи передбачають стадію утилізації продуктів реакції та відшкодування витрачених реагентів. Для здійснення плазмокatalітичних реакцій розкладання шкідливих речовин потрібно лише подання електроенергії.

Електростатичні методи застосовуються в основному для очищення газових викидів від завислих частинок (пил та аерозолі). Застосування їх вимагає дорогих високочастотних агрегатів живлення і подачі до зони реакції додаткових газів реагентів, при цьому ефективність очищення становить не більше 80%. Установки «ПЛАЗКАТ» працюють в основному на промисловій частоті напруги живлення, і ступінь очищення в них досягає 99,9 %.

Каталітичні методи очищення потребують дорогих каталізаторів, високих температур у зоні каталізу, а також малих обсягів газів, що проходять через зону реакції для ефективного очищення. А установки «ПЛАЗКАТ» працюють на дешевих каталізаторах, у широкому діапазоні температур і з будь-якими обсягами газів, що очищаються.

Мета та постановка завдання

Метою даної статті є дослідження можливості й ефективності очищення повітря в салоні транспортних засобів від домішок токсичних вуглеводнів плазмохімічними методами.

Задача дослідження - визначити конверсію шкідливих речовин у салоні автомобіля, яка відбувається при проходженні забрудненого повітря через газорозрядний реактор, де під дією низькотемпературної плазми утворюються активні радикали (в тому числі озон) в умовах розряду.

Виклад основного матеріалу

Експериментальний стенд для дослідження розкладання випарів вуглеводнів у безбар'єрному газовому розряді складався з плазмохімічного реактора, високовольтного джерела живлення, системи контролю електродинамічних параметрів, системи, яка аналізує склад газових сумішей, та системи газопідготовки, Ескізна схема установки наведена на рис. 1.

Для реалізації запланованих експериментальних досліджень розкладання випарів вуглеводнів у безбар'єрному газовому розряді використано таке наукове обладнання.

Система підготовки газових сумішей складалася з повітряного компресора, регулюючих клапанів, змішувальної буферної ємності. Потік газу насичується парами з рідкими вуглеводнями. Плазмохімічний реактор (ПХР) складався з одного або з трьох послідовно з'єднаних плазмохімічних реакторів. Для кожного опору при вимірюванні електродинамічних параметрів розряду використовувався еквівалентний електричний конденсатор. Геометрію плазмохімічних реакторів обрано з міркувань найбільшої ефективності проведення плазмохімічних процесів.

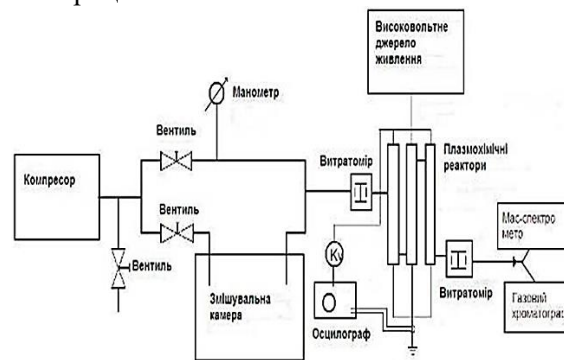


Рис. 1. Ескізна схема установки

Система підготовки газових сумішей складається з компресора мембранного типу SLL-30 фірми SECON SANGYO Co (Японія), ємності для змішування і клапанів. Процес барботування включає проходження газових потоків через ємність з рідкими вуглеводнями для насичення парами, плазмохімічного реактора коаксіального типу з центральним електродом, що складається зі 100 шт. електродів зіркоподібного типу (міжелектродний проміжок 5 мм, площа циліндричного електрода – 880 см²). Електрична ємність одного плазмохімічного реактора складає 56 пФ. Геометрію плазмохімічних реакторів було обрано з міркувань найбільшої ефективності проведення плазмохімічних процесів, що було показано раніше при використанні відповідної геометрії для синтезу озону. Для формування низькотемпературної плазми використовувалися спеціальні джерела живлення, які призначені для формування однополярних високовольтних імпульсів (1 мкс, 15 кВ, 10 А, 20 кГц) на резистивно-ємнісному навантаженні. Максимальна потужність, яка споживається джерелом живлення, – 360 Вт. Швидкість потоку вуглеводнево-повітряної газової суміші вимірювалась за допомогою двох витратомірів РМ-0,63У [10].

Для хроматографічного аналізу відбираються проби потоку повітря з плазмохімічного реактора за допомогою газового хроматографа HP 5890 Series II. Проба береться через газовий вентиль. Мас-спектрометричний аналіз здійснюється з використанням мас-спектрометричного комплексу на основі мас-спектрометра MX-7303 [11]. Вимірювання електродинамічних параметрів розряду здійснювалося цифровим осцилографом Tektronix TDS-2024B з частотою дискретизації 200 МГц за допомогою струмового шунта СТ-1 фірми Tektronix, з чутливістю 5 мВ/мА і вихідним опором 50 Ом, зі смугою пропускання 25 кГц – 1 ГГц, та високовольтного щупа P6015A з коефіцієнтом ділення 1000:1 і смугою пропускання 10 Гц ... 75 МГц. Сигнал з осцилографа Tektronix TDS-2024B через цифровий паралельний вихід RS-232 оброблювався програмою WaveStar for Oscilloscopes на PC.

В умовах розряду в низькотемпературній плазмі відбувалось утворення радикалів, таких як OH, C₂H₅O, CH₃, C₂H₅ і т.ін., і, як результат, напрацьовувався широкий спектр продуктів реакції.

Аналіз складу продуктів дозволив ідентифікувати фізико-хімічні процеси в різних режимах горіння розряду та оптимізувати роботу плазмохімічних реакторів за вихідним продуктом. Найбільш повне уявлення про склад продуктів плазмохімічних реакцій дозволяє отримати комплексний підхід з використанням мас-спектрометричного та хроматографічного аналізу.

Для етанол-повітряної газової суміші проведений мас-спектрометричний аналіз продуктів плазмохімічних реакцій на виході з плазмохімічного реактора. В умовах розряду в низькотемпературній плазмі відбувалось утворення іонів і радикалів, таких як OH, CH₃, C₂H₅, C₂H₅O і т.ін., і, як результат, напрацьовувався широкий спектр проміжних продуктів.

Для визначення складу продуктів, що напрацьовувалися в плазмохімічному реакторі, проведений мас-спектрометричний аналіз проби на виході з плазмохімічного реактора. На рис. 2 наведено мас-спектри етанол-повітряної газової суміші на виході з плазмохімічного реактора без розряду і з розрядом.

Добре видно, що без розряду на мас-спектрах проявились піки атомарного кисню і молекулярного азоту, аргону, гідроксилу і води, а також група етанолу. На мас-спектрах, знятих з проби, видно появу нових піків, що відповідають атомним масам відібраних після плазмохімічного реактора з розрядом, крім

перерахованих вище груп, 15 (CH₃), 30 (C₂H₆), 31 (CH₃O), 43 (C₂H₃O). Оскільки концентрація аргону в газі лишалась постійною і для піку аргону не спостерігалось перекриття з іншими речовинами. Пік 40 маси (Ar) порівнювався для зміни амплітуд інших мас при дослідженні експериментальних даних. Аналізом рис. 2 встановлено, що на розряді мас-спектра амплітуда піка 46 атомної маси (C₂H₅OH) зменшилася, а амплітуди піків відповідно 44 атомної маси (CO₂, C₂H₄O) і 18 атомної маси (H₂O) збільшилися відповідно 40 маси (Ar). Аналізом складу газової суміші встановлено, що після обробки низькотемпературною плазмою, реєструвалися також значні піки. Ряд радикалів CH₃ (15), OH (17), CH₃O (31), C₂H₃O (43), C₂H₅O (45) з хімічною сполукою формальдегіду (CH₂O, 30). Отримані піки: 43 (C₂H₃O) атомної маси і значне зростання 44 атомної маси свідчать про те, що в розряді утворюється значна кількість оцтового альдегіду (C₂H₄O).

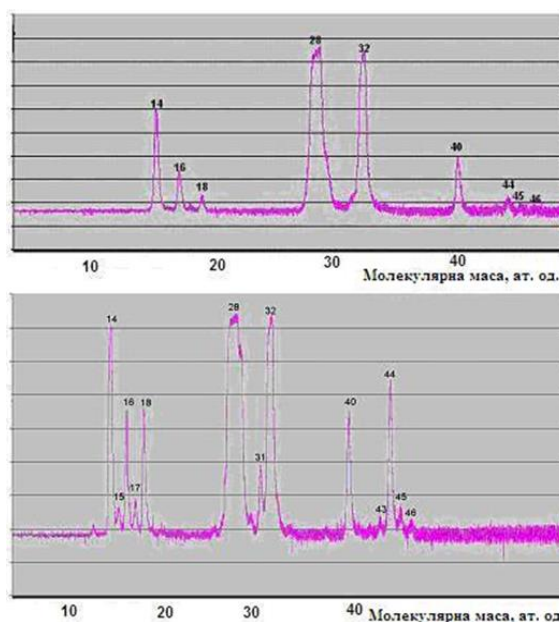


Рис. 2. Мас-спектри етанол-повітряної газової суміші без розряду (зверху) і з розрядом (знизу)

Динаміку зміни амплітуд піків при різній напрузі, яка прикладена до плазмохімічного реактора, наведено на рис. 3.

При збільшенні потужності, що вкладена у розряд, амплітуда піку сорок четвертої маси зростала відносно піку 40 маси. Це означає, що із зростанням вкладеної потужності ступінь конверсії етанолу зростав (див. рис. 3).

Для підтвердження даних, отриманих при мас-спектрометричному аналізі, проведено

хроматографічний аналіз продуктів плазмохімічних реакцій, що протікають під дією низькотемпературної плазми в етанол-повітряній газовій суміші.

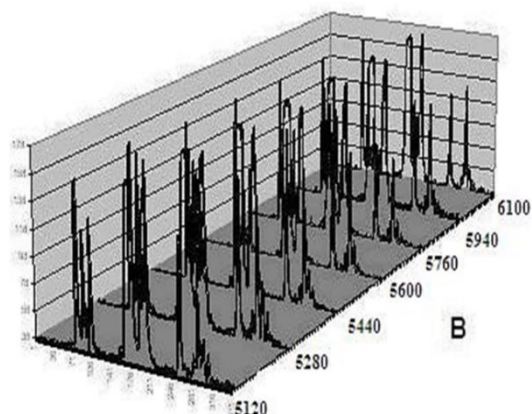


Рис. 3. Мас-спектри етанол-повітряної газової суміші при різних амплітудах імпульсу напруги на плазмохімічному реакторі

Розглянуті результати хроматографічного аналізу вуглеводнево-повітряної газової суміші на виході з ПХР.

На рис. 4 наведено хроматограми складу повітря з домішкою етанолу на виході з ПХР без розряду і з розрядом.

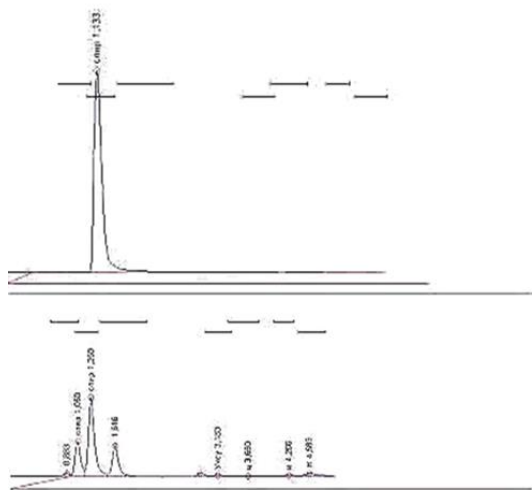


Рис. 4. Хроматограми етанол-повітряної газової суміші без розряду (зверху) і з розрядом (знизу)

Поява нових хроматографічних піків вказує на те, що в низькотемпературній плазмі розряду здійснюється синтез проміжних органічних сполук.

Динаміку зміни амплітуди хроматографічних піків при різній напрузі, яка прикладена до плазмохімічного реактора, наведено на рис. 5.

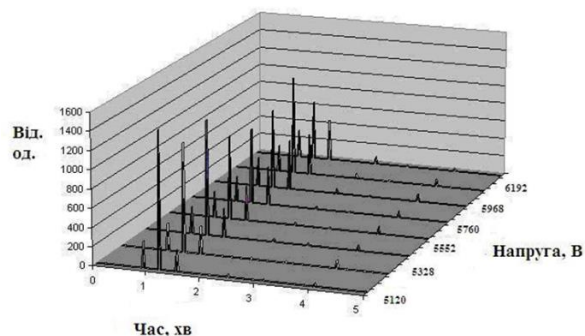


Рис. 5. Хроматограми етанол-повітряної газової суміші з розрядом при різних амплітудах імпульсу напруги на плазмохімічному реакторі ($q = 0,16$ л/хв)

Продуктами конверсії етанолу є більш легкі вуглеводні (перший хроматографічний пік не розділяється хроматографічною колонкою), оцтовий альдегід (C_2H_4O) і оцтова кислота (H_3CCOOH), а також у незначних кількостях більш складні вуглеводні, що утворилися в результаті взаємодії в розряді хімічних радикалів, це підтверджує дані мас-спектрометричного аналізу. При збільшенні напруги на ПХР, а, отже, вкладеної потужності, відбувається зменшення площі хроматографічного піку етанолу та зростання хроматографічних піків відповідних продуктам розкладання, оцтовому альдегіду (C_2H_4O) і оцтовій кислоті (H_3CCOOH) (рис. 5).

Враховуючи, що площа хроматографічного піку пропорційна кількості речовини, що визначається, оцінений ступінь розкладання етанолу, як відношення різниці площ хроматографічних піків етанолу, які мають і не мають розряду, до площі піку етанолу без розряду. Потужність, вкладена в розряд, визначалася за струмом джерела і напругою на первинній обмотці трансформатора, що формує високотенсійний імпульс.

На рис. 6 представлено результати розрахунку ступеня розкладання (конверсії) випарів етанолу залежно від потужності, вкладеної у розряд для витрат етанол-повітряної суміші через реактор 0.16, 0.5 і 1 л/хв. Показано, що для значень вкладеної потужності близько 70 Вт при витраті 1 л/хв досягається 94 % конверсія випарів етанолу в розряді.

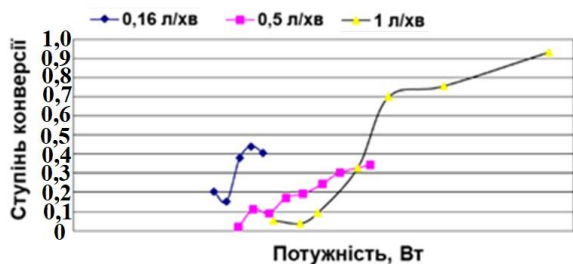


Рис. 6. Ступінь конверсії випарів етанолу залежно від вкладки у розряд потужності при витратах етанол-повітряної газової суміші через реактор: 0,16 л/хв; 0,5 л/хв; 1,0 л/хв

Для визначення характерних механізмів хімічних реакцій у спирто-повітряній газовій суміші проведено хроматографічний аналіз продуктів реакцій у метанол-повітряній газовій суміші.

На рис. 7 наведено хроматограми складу повітря з домішкою метанолу на виході з ПХР без розряду і з розрядом.

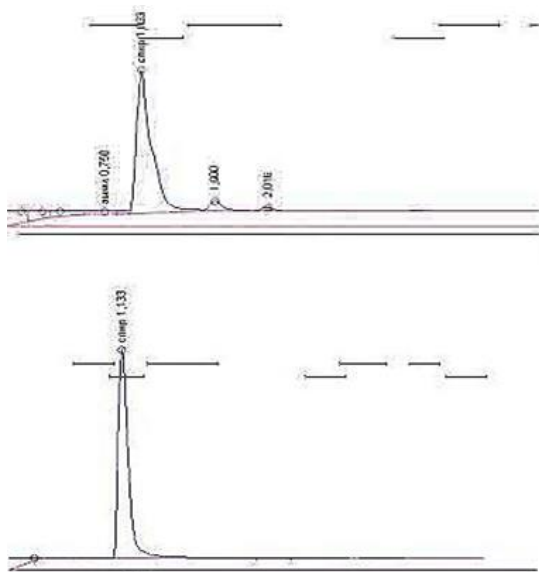


Рис. 7. Хроматограми метанол-повітряної газової суміші без розряду (знизу) і з розрядом (зверху)

Порівняння отриманої хроматограми випарів метанолу на виході з плазмохімічного реактора для показників напруги 5,7...6,1 кВ випарів формаліну (35 % формальдегіду, 5 % метанолу, >1% мурашиної кислоти) з хроматограмами ідентифікують як мурашину кислоту (НСООН) і формальдегід (СН₂О).

Зі зростанням вкладки потужності хроматографічні піки, за винятком піку метанолу (СН₃ОН), зникали, з чого зроблено висновок, що проміжні продукти конверсії метанолу

повністю доокислювались в низькотемпературній плазмі газового розряду.

Ступінь конверсії метанолу, також як і ступінь конверсії етанолу, визначимо як відношення різниці площ хроматографічних піків, які мають і не мають розряду, до площі піку без розряду. На рис. 8 представлені результати розрахунку ступеня розкладання (конверсії) випарів метанолу залежно від вкладки потужності в розряд для витрат метанол-повітряної суміші через реактор 0,5 і 1 л/хв. Показано, що для значень вкладки потужності порядку 55 Вт при витраті метанол-повітряної суміші через ПХР 1 л/хв досягалося повне розкладання/окиснення випарів метанолу в розряді.

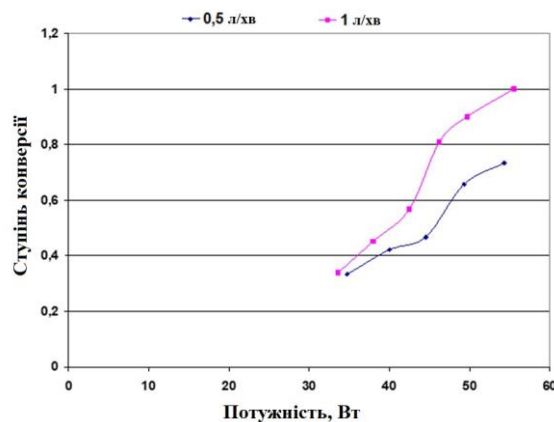


Рис. 8. Ступінь конверсії випарів метанолу при витратах метанол-повітряної газової суміші 0,5 л/хв і 1 л/хв

Таким чином, шляхом використання методів комбінування мас-спектрометричних і хроматографічних показників встановлено, що оксид випарів вуглеводнів (етанол, метанол) у низькотемпературній плазмі безбар'єрного газового розряду протікає з утворенням проміжних вуглеводневих сполук [12].

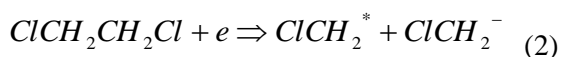
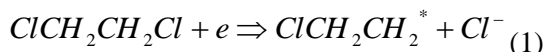
Показано, що в умовах газового розряду з сильно неоднорідним розподілом напруженості електричного поля ступінь конверсії метанолу й етанолу залежить від потужності, вкладки в розряд, і часу перебування газової суміші в зоні розряду. Визначено умови для глибокої конверсії випарів метанолу і етанолу. Кінцевими продуктами конверсії етанолу і метанолу є вода і вуглекислий газ. Проміжними продуктами конверсії метанолу є формальдегід і мурашина кислота. А етанолу - цілий ряд різноманітних сполук, що включає оцтову кислоту, оцтовий альдегід і т.ін.

Для визначення ефективності використання безбар'єрного газового розряду для

окиснення інших типів вуглеводнів проведено дослідження розкладання дихлоретану, як модельного вуглеводню для галогенвмісних летких вуглеводнів, та циклогексану, як модельного циклічного вуглеводню. ГДК дихлоретану у повітрі для населених місць складає 1 мг/м^3 (середньодобова) або 3 мг/м^3 (макс. разова). Дослідження ефективності розкладання дихлоретану в низькотемпературній плазмі газового розряду дозволить визначити перспективність створення технології очищення повітря від галоген-вуглеводнів плазмохімічними методами.

Для плазмохімічного реактора з міжелектродним проміжком 5 мм амплітуда високовольтного імпульсу напруги, при якій відбувалося запалювання розряду, складала 5,9 кВ при частоті слідування імпульсів 15 кГц. При досягненні амплітуди високовольтного імпульсу 8,1 кВ відбувався перехід розряду в іскрову стадію.

Під дією високоенергетичних електронів відбувались реакції іонізації та дисоціації дихлоретану з подальшим окисненням продуктів розкладу. Оскільки енергія зв'язку у молекулі дихлоретану (в кДж/моль): 402,08 (С-Н), 332,21 (С-Cl), 368,19 (С-С); а довжина зв'язку С-Cl 0,176 нм, то найбільш вірогідними проміжними продуктами розкладу дихлоретану є:



Активні радикали, що утворилися внаслідок цих реакцій, легко окислюються атомарним киснем і озоном, що паралельно утворюються з повітря в безбар'єрному розряді.

В експерименті здійснювався контроль початкової і кінцевої концентрації дихлоретану залежно від параметрів розряду. Концентрація визначалася за площею хроматографічного піку. На рис. 9 наведена характерна хроматограма пари дихлоретану.



Рис. 9. Хроматограма випарів дихлоретану

Звертає на себе увагу, що в умовах експерименту, на хроматограмі реєструвався лише пік дихлоретану, а інші хроматографічні піки відсутні, тобто інші продукти реакцій хроматографом не реєструвалися. При різній вкладеній у розряд потужності змінювалася тільки амплітуда і площа хроматографічного піку дихлоретану. Залежність коефіцієнта розкладання пари дихлоретану від вкладеної у розряд потужності при витраті суміші повітря з паром дихлоретану $0,5 \text{ л/хв}$ наведена на рис. 10.

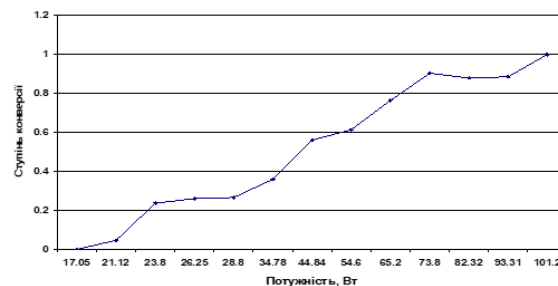


Рис. 10. Залежність ступеня розкладання дихлоретану від вкладеної потужності

З наведеного графіка видно, що зі зростанням вкладеної у розряд потужності ступінь розкладу дихлоретану зростає. При вкладеній потужності близько 100 Вт*год , в умовах передпробійного горіння розряду при амплітуді імпульсу напруги 7,9 кВ дихлоретан розкладається на 100 %.

В експериментах із розкладання дихлоретану в ПХР час експозиції склав 12 секунд. Оскільки розрядні області в газовому розряді даного типу являють собою плазмові канали невеликого радіуса, що йдуть від вістрів зіркоподібних електродів до поверхні трубчастого, то за рахунок оптимізації геометрії і підбору часу експозиції дихлоретану в розрядній області, ефективність даного типу систем може бути значно підвищена.

Характерна хроматограма випарів циклогексану наведена на рис. 11. Хроматограма випарів циклогексану відміна тільки часом виходу з хроматографічної колонки.



Рис. 11. Хроматограма випарів циклогексану

Звертає на себе увагу, що в умовах експерименту на хроматограмах відсутні інші хроматографічні піки, реєструвалися лише піки дихлоретану або циклогексану. Ніякі інші продукти хроматографом не реєструвалися. При різній вкладеній потужності змінювалася тільки амплітуда і площа хроматографічного піку. Ступінь розкладання для випарів дихлоретану та циклогексану визначалися так само, як і для метанолу та етанолу. Залежність ступеня розпаду випарів дихлоретану, етанолу та циклогексану від потужності при витраті повітря, насиченого парами вуглеводнів, 0,5 л/хв, представлено на рис. 12.

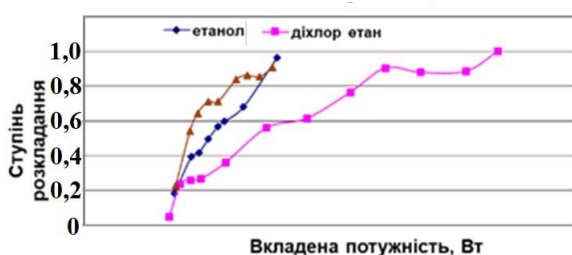


Рис. 12. Залежність ступеня розкладання вуглеводнів від вкладеної потужності

Для отриманих значень потужності 40 Вт при витраті етанол- і циклогексан-повітряної суміші через плазмохімічний реактор 0,5 л/хв отримано 90% розкладання випарів вуглеводнів у розряді. Також визначено, що при однаковому значенні потужності випари етанолу і циклогексану розпадаються ефективніше, ніж випари дихлоретану в без бар'єрному газовому розряді. Ступінь розкладання дихлоретану досягає 99,9% (не визначається хроматографічними методами) при вкладеній потужності більше 100 Вт. Щільність енергії для всіх зазначених речовин, при найвищому рівні розкладання, становила для етанолу – 4200 Дж/л, метанолу – 3300 Дж/л, дихлоретану – 4428 Дж/л, циклогексану – 2520 Дж/л.

Висновки

Таким чином продемонстровано, що в умовах низькотемпературної плазми фізико-хімічні процеси і реакції протікають в істотно нерівноважних умовах, що проявляється у значному перевищенні середньої енергії електронів над середньою енергією важких частинок; у нерівноважній функції розподілу електронів; в різниці поступальної і коливальної температур; у значно перевищуючій рівноважну ступінь іонізації газу і т. ін. Ці та інші фактори призводять до великих концентрацій частинок у різних збуджених

станах, що знижує характерний час фізичних та хімічних процесів.

Процес конверсії шкідливих речовин відбувається за таким механізмом: забруднене повітря проходить через газорозрядний реактор, в якому відбувається руйнування шкідливих речовин під дією низькотемпературної плазми й інших фізико-хімічних факторів впливу та доокислення озonom, який утворюється з повітря в умовах розряду.

Дослідження підтвердили можливість використання низькотемпературної плазми безбар'єрного газового розряду для очищення повітря від домішок токсичних вуглеводнів. Виявлено, що використання плазмохімічного методу очищення повітря з використанням низькотемпературної плазми безбар'єрного газового розряду дозволяє досягнути 100% (досягається рівень нижче похибки вимірювання) окиснення токсичних домішок вуглеводнів у повітрі до нетоксичних оксидів.

Шляхом аналізу отриманих результатів встановлено, що проміжними продуктами окиснення метанолу етанолу є альдегіди та відповідні кислоти, а кінцевими – вода та оксид вуглецю. Встановлено, що при підвищенні рівня потужності розряду зменшується концентрація проміжних та зростає концентрація кінцевих продуктів.

Література

1. Турос О. І., Ананьєва О.В., Петросян А.А. Оцінка експозиції забрудненим повітрям у салоні пасажирських транспортних засобів. *Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія*. 2015. № 4. Т. 2 (42-2). С. 25-31.
2. Способи очищення салону автомобіля: https://www.avtoradosti.com.ua/ua/news/07_2020/778.html
3. Xuefeng Yan, Zhen Hu. Experiment and Analysis on the Treatment of Gaseous Benzene Using Pulsed Corona Discharge Plasma // *Plasma Source Sci. & Technol.* 2004. Vol. 6, No. 2. P. 2241-2246.
4. Kotsuspyros A., Yan S.-M., Beker K. Destruction of hydrocarbons in non-thermal, ambient-pressure, capillary discharge // *International Journal of Mass Spectrometry*. 2004. Vol. 233. P. 305–315
5. Дойков Д. Н., Храпатий С. В. Эволюция электронной функции распределения по энергиям в запыленной плазме, облучаемой жесткими излучениями. *Физика аэродисперсных систем*. 2020. № 58. С. 102-111.
6. Шефер О. В. Оптимальні умови утворення низькотемпературної плазми для зменшення щільності стохастичного іонізованого середовища навколо космічного апарата. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. № 5. С. 158-161.
7. Шефер О. В. Шляхи побудови надійного телеметричного зв'язку при проходженні радіохвиль

- через плазму. *Перспективи телекомунікацій: збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції*. 2017.
8. Семрад О. О., Сідей В. І., Переш Є. Ю. Метавалентні хімічні сполуки типу AIBVCVI 2 (Al–Li, Na, K, Rb, Cs; BV–As, Sb, Bi; CVI–Se, Te). 2020.
 9. Логвінков С. М., Борисенко, О. М., Михайлова, Є. О., Попенко, Г. С., Логвінков, С. М., Борисенко, О. Н., & Михайлова, Е. А. (2019). Хімія.
 10. Кудін Д. В. Низькотемпературні нерівноважні плазмохімічні процеси у безбар'єрному газовому розряді атмосферного тиску у повітрі з домішкою вуглеводнів.
 11. Черніков М. Г., Чернікова, І. Д., Чернікова, О. М., & Гордєєв, В. В. Часопролітна мас-спектрометрична установка. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2021. №1 (265). С.174-177.
 12. Полумбрик М. О., Полумбрик О.М., Баль-Прилипко Л.В. Хроматографія і ЕПР спектроскопія для оцінки антиоксидантної активності природних сполук. 2017.

References

1. Turos O.I. Assessment of exposure to polluted air in passenger vehicle cabins /O. I. Turos, O. V. Ananieva, A. A. Petrosyan// Actual problems of transport medicine: environment; occupational health; pathology. - No. 4. – T. 2 (42-2). – 2015. P. 25-31.
 2. Methods of cleaning the car interior: https://www.avtoradosti.com.ua/ua/news/07_2020/778.html.
 3. Xuefeng Yan, Zhen Hu. Experiment and Analysis on the Treatment of Gaseous Benzene Using Pulsed Corona Discharge Plasma // Plasma Source Sci. & Technol. 2004. Vol. 6, No.2. P. 2241-2246.
 4. Kotsuspyros A., Yan S.-M., Beker K. Destruction of hydrocarbons in non-thermal, ambient-pressure, capillary discharge // International Journal of Mass Spectrometry. 2004. Vol.233. P. 305–315
 5. Doikov, D. N., and S. V. Khrapatii. "Evolution of the electronic energy distribution function in a dusty plasma irradiated with hard radiations." *Physics of Aerodisperse Systems* 58 (2020): 102-111.
 6. Shefer, O. V. "Optimal use of low-temperature plasma for changing the width of a stochastic ionized medium in a spacecraft." *Control Systems, Navigation and Communication* 5 (2017): 158-161.
 7. Shefer, Oleksandr Vitaliyovych. "Ways to induce an overhead telemetric link during the passage of radio waves through the plasma." *Collection of materials of the International Scientific and Technical Conference "Prospects for Telecommunications"* (2017).
 8. Semrad, Omelyan Omelyanovich, Vasil Ivanovich Sidey, and Evgen Yuliyovich Peresh. "Metavalent chemistries of type AIBVCVI 2 (Al–Li, Na, K, Rb, Cs; BV–As, Sb, Bi; CVI–Se, Te)." (2020).
 9. Logvinkov, S. M., Borisenko, O. M., Mikhailova, Ye. O., Popenko, G. S., Logvinkov, S. M., Borisenko, O. N., & Mikhailova, E. A. (2019). *Chemistry*.
 10. Kudin, D. V. Low-temperature non-innovative plasma-chemical processes in a barrier-free gas discharge in an atmospheric pressure in the field with a house in carbohydrates.
 11. Chernikov, M. G., Chernikova, I. D., Chernikova, O. M., & Gordeev, V. V. (2021). Hour-length mass-spectrometric setup. *Bulletin of the Khidnoukrainian National University named after Volodymyr Dal*, (1 (265)), 174-177.
 12. Polumbrik, M. O., Polumbrik, O. M., & Bal-Prilipko, L. V. (2017). Chromatography and EPR spectroscopy to assess the antioxidant activity of natural pollutants.
- Бажинов Олексій Васильович**¹, д.т.н., проф. каф. технічної експлуатації і сервісу автомобілів імені Говорушенка М. Я.,
Email: alexey.bazhinov@gmail.com,
тел. +38 099-658-51-01,
- Кравцов Михайло Миколайович**¹, к.т.н., доц. каф. метрології та безпеки життєдіяльності,
E-mail: super-mikvich@ukr.net,
тел. +38 098-812-95-39
- ²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
- Таран Григорій Віталійович**², к.т.н., ст. дос. відділу нерівноважної низькотемпературної плазмохімії,
E-mail: tarang@kipt.kharkov.ua,
тел: +38057-335-61-87
- Кудін Дмитро Вікторович**², мол. наук. співроб. відділу нерівноважної низькотемпературної плазмохімії,
Email: kudin@kipt.kharkov.ua,
тел. +38 066-256-64-92
- ²Інститут плазмової електроніки та нових методів прискорення Національний науковий центр «Харківський Фізико-Технічний Інститут», 61108, Україна, м. Харків, вул. Академічна 1.
- Гаєк Євген Анатолійович**³, к.т.н., ст. викл. каф. оптимізації технологічних систем в рослинництві
E-mail: gaekevgen@gmail.com
тел. +38096-957-28-20
- ³Державний біотехнологічний університет вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002
- Бажинов Алексей Васильевич**¹, д.т.н., проф. каф. технической эксплуатации и сервиса автомобилей имени Говорушенка М. Я.,
Email: alexey.bazhinov@gmail.com,
тел. +38 099-658-51-01,
- Кравцов Михаил Николаевич**¹, к.т.н., доц. каф. метрологии и безопасности жизнедеятельности,
Email: super-mikvich@ukr.net,
тел. +38 098-812-95-39

Plasmochemical air cleaning system in vehicle cabin

Abstract. Problem. Currently, the problem of energy independence is one of the most urgent. Consequently,

there is a significant need for alternative sources of power. Along with this, throughout the history of human development, the issues of roads and their quality have been very topical and relevant. It is especially true for Ukraine. With the development of science and technology, these issues are expanded by functionality of roads, their safety both for drivers and for other road users and the ability to perform several functions simultaneously, for example, to provide transport traffic and generate electricity. **Goal.** The goal is development of the method of road marking and automatic control of the road traffic using multifunctional road panels. **Methodology.** The analytical methods of research on the development and application of methods and devices for transforming the energy of the sun into electricity were used. Methods of mathematical modulation were used when considering the principle of multifunctional road panels, combined in one system. **Results.** The functional features of multi-functional road panels of pavement are revealed and their scheme on the roadway is presented. The principle of operation of the road as a unified system of multifunctional road surface panels has been researched. The scheme of implementation of road marking and automatic control of road traffic is presented. **Originality.** It is suggested to use special plates – multifunctional road panels – instead of the top layer of the road cover. Such an upper layer of road clothing will allow the road, as an integral complex system, to perform several functions simultaneously: to be a part of the road for motor transport, to generate electricity and to draw a road marking independently, and if necessary – to change it. **Practical value.** The use of the proposed method of road markings and automatic control of road traffic will make possible quality performance and rapid change of road markings at any time of the year and

day, depending on the current natural and traffic conditions. Also, the proposed road pavement will generate electricity as an alternative renewable source of energy.

Key words: alternative sources of electricity, road panels, smart roads, road marking, energy-saving technologies.

Olexiy Bazhynov¹, doctor of technical sciences, prof. café of technical operation and service of cars named after M. Ya. Govorushchenko,

Email: alexey.bazhinov@gmail.com,

phone. +38 099-658-51-01,

Mikhail Kravtsov¹, Ph.D., Assoc. café metrology and life safety,

Email: super-mikvich@ukr.net,

tel. +38 098-812-95-39

2 Kharkiv National Automobile and Road University, 61002, Ukraine, Kharkiv, st. Yaroslav the Wise, 25.

Grigory Taran², PhD, senior researcher. Department of non-equilibrium low-temperature plasma chemistry,

E-mail: tarang@kipt.kharkov.ua,

phone: +38057-335-61-87

Dmytro Kudin², junior researcher

Department of non-equilibrium low-temperature plasma chemistry,

Email: kudin@kipt.kharkov.ua,

phone. +38 066-256-64-92

²Institute of Plasma Electronics and New Acceleration Methods National Scientific Center "Kharkiv Physical and Technical Institute", 61108, Ukraine, Kharkiv, str. Academic 1.

Yevhen Haiek³, Ph.D., senior lecturer

Department optimization of technological systems in crop production

E-mail: gaekevgen@gmail.com,

phone. +38096-957-28-20

³State Biotechnological University

St. 44 Alchevskikh St., Kharkiv, Ukraine, 61002