

В. О. Броницький, О. В. Левін, О. Ю. Голяченко
(НТУУ «КПІ»)

ВИКОРИСТАННЯ ФОТОКАТАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

У статті розглядається установка для очищення повітря із застосуванням фотокаталітичного методу. Для дослідження використовувалися диференціальний мікроманометр, датчик швидкості руху повітря і газоаналізатор. Результатом є дослідження ефективності цієї установки для нейтралізації органічних зв'язків, що трапляються в промислових викидах.

Ключові слова: фотокаталізатори, рекомбінації електронів і дірок, конверсія парів летких органічних сполук.

В статье рассматривается установка для очистки воздуха с применением фотокаталитического метода. Для исследования использовались дифференциальный микроманометр, датчик скорости движения воздуха и газоанализатор. Результатом является исследование эффективности данной установки для нейтрализации органических связей, встречающихся в промышленных выбросах.

Ключевые слова: фотокаталитизаторы, рекомбинации электронов и дырок, конверсия паров летучих органических соединений.

The article discusses the installation of air purification with photocatalytic method. For the study used a differential manometer, air velocity sensor and analyzer. The result is a study of the efficiency of the installation for the neutralization of organic links encountered in industrial emissions.

Keywords: photocatalysts, recombination of electrons and holes, the conversion of the vapor of volatile organic compounds.

Актуальність. Екологічна ситуація останніх років має стійку тенденцію до погіршення. У викидах автотранспорту та промислових підприємств присутні небезпечні для людини і навколишнього середовища з'єднання. Токсичні забруднювачі в повітрі створюють негативний вплив на організм людини, що призводить до порушення обмінного енергетичного балансу всередині клітин організму, яке безпосередньо проявляється в підвищеній стомлюваності, головних болях, зниженні уваги під час робочого процесу, підвищеній чутливості до різних інфекцій і при тривалому впливі призводить до різних хронічних захворювань. Причина – посилення впливу на організм

людини і навколишнє середовище цілого ряду хімічних сполук промислового і побутового походження, представлених навіть у порівняно невеликих концентраціях. Застосування фотокаталітичного методу для очищення повітря стало одним із сучасних варіантів вирішення цієї проблеми.

Конструкція та принцип роботи. Дослідження ефективності роботи фотокаталітичного пристрою очищення повітря проводили на стенді, загальний принцип роботи якого наведено на схемі (рис. 1).

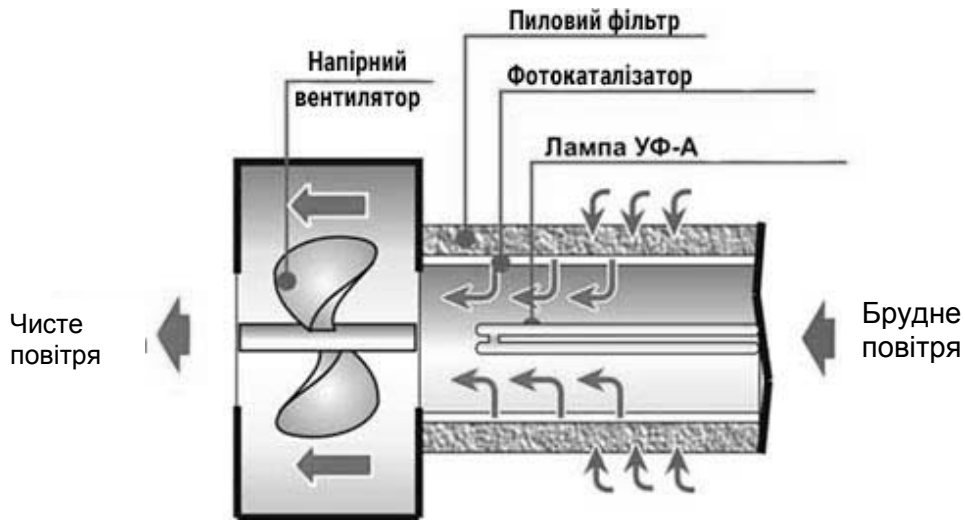
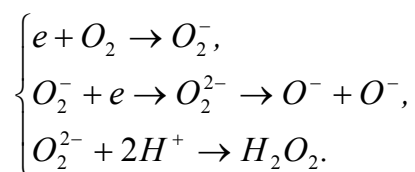


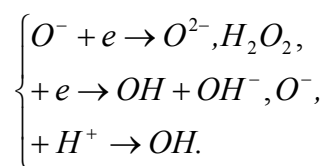
Рис. 1. Очищення повітря фотокаталітичним методом

Суть методу полягає в окисленні токсичних домішок на поверхні фотокаталізатора під дією ультрафіолетового випромінювання. Реакція протікає при кімнатній температурі, при цьому токсичні домішки не накопичуються на фільтрі, а руйнуються до нешкідливих компонентів чистого повітря.

Діоксид титану TiO_2 – напівпровідниковий з'єднувач. За сучасним уявленнями, в таких зв'язках електрони можуть знаходитися в двох станах: вільному і зв'язаному. Для переведення електрона із зв'язаного стану у вільний необхідно витратити не менше ніж 3,2 еВ енергії. Ця енергія може бути доставлена квантами світла з довжиною хвилі $\lambda < 390$ нм. Таким чином, при поглинанні світла в об'ємі частинки TiO_2 з'являється вільний електрон та електронна вакансія (у фізиці напівпровідників така електронна вакансія називається «діркою»). Електрон здатний реагувати з киснем, породжуючи послідовність реакцій:



При цьому можуть утворюватися такі потужні окислювачі як O^- і OH радикали:



Для напівпровідникових частинок як фотокаталізатори розглядають кілька стадій процесу: поглинання світла – народження електрон-діркових пар; дифузія електронів і дірок до поверхні напівпровідника; об'ємна рекомбінація електронів і дірок; поверхнева рекомбінація електронів і дірок; корисні реакції електронів і дірок з адсорбованими молекулами.

Важливою перевагою пристроїв є відсутність змінних фільтрів, тому що при фотокаталітичному методі очищення токсичні суміші не накопичуються у фільтрі, а розкладаються до безпечних компонентів, а саме: оксиди азоту, фенол, формальдегід.

Розрахунок ефективності установки. Тестовими реагентами було обрано ряд найбільш типових з'єднань, що зустрічаються в промислових викидах. Характеристики розчинників наведено в табл. 1, 2.

Таблиця 1

Вхідні данні

Концентрація компонентів в летючій фазі, %	Вміст в 1 кг суміші розчинника, г	Назва
9,12	71,2	Ацетон
14,1	151,0	Бутанол
15,9	119,0	Бутилацетат
55,68	496,8	Толуол
9,9	99,0	Етанол
6,3	63,0	Етилцеллозольв

Таблиця 2

Характеристики розчинників, які входять до складу тестової суміші

Адсорбат	Брутто-формула	Температура кипіння, °С	Молярна маса М, г/моль	Густина ρ , г/см ³
Ацетон	CH ₃ COCH ₃	57,5	56,08	0,895
Н-бутанол	C ₄ H ₉ OH	119	74,12	0,898
Бутилацетат	CH ₃ COOC ₄ H ₉	126	113,16	0,887
Толуол	C ₆ H ₅ CH ₃	110,9	94,14	0,6694
Етанол	C ₂ H ₅ OH	76,4	43,87	0,7869
Етилцеллозольв	C ₂ H ₅ OCH ₂ CH ₂ OH	138,1	91,12	0,831

Дослідження ефективності роботи фотокаталітичного пристрою проводили на стенді за схемою, яка наведена на рис. 2.

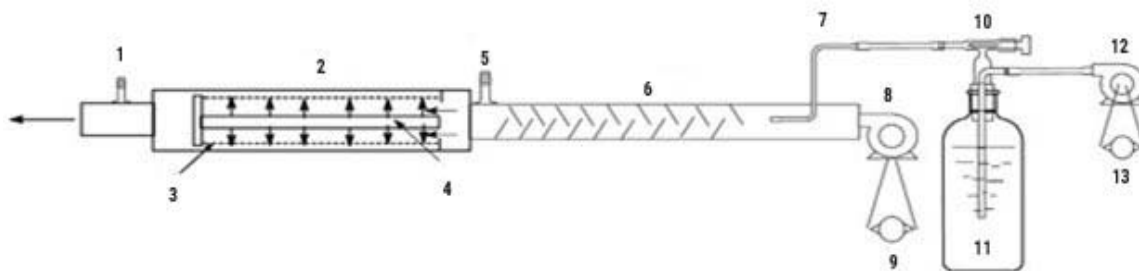


Рис. 2. Схема для визначення ефективності роботи фотокаталітичної установки: 1, 5 – компресор; 2, 6 – варіатор; 3 – голчастий кран; 4 – скруббер; 7 – інжекторна насадка; 8 – ялинковий змішувач; 9, 11 – патрубок для відбору проб та вимірювання; 10 – корпус фотокаталітичного пристрою; 12 – пористий каталітичний елемент на основі оксиду титану; 13 – УФ-випромінювання

Атмосферне повітря пропускали через шар сумішевого розчинника, вміщеного в скруббер 4, що являє собою закриту посудину, оснащену вхідним і вихідним патрубками. Змінювали об'ємну витрату повітря, для чого використовували компресор 1 з варіатором 2, що забезпечувало при зміні швидкості обертання лопатей компресора отримання газоповітряної суміші з різними вихідними концентраціями сумішевого розчинника. Застосовуючи голчастий кран 3, проводили дозування вихідної суміші через інжекційну насадку 7 та ялинковий змішувач 8, де використовували компресор 5 з варіатором 6. Після розведення в ялинковому змішувачі одержували робочі повітряні суміші, які надходили на очищення та нейтралізацію в до фотокаталітичного пристрою очищення повітря. Робоча газоповітряна суміш надходила в корпус фотокаталітичного пристрою 10, потрапляла у внутрішню порожнину трубчастого фотокаталітичного елемента, виготовленого на основі спеченого сферичного TiO_2 12, де під дією сферичного УФ-випромінювача, розташованого співвісно фотокаталітичному елементу, відбувалася нейтралізація органічних забруднень повітря. Для контролю ефективності роботи пристрою через патрубки 9 і 11 здійснювали контроль вхідних і вихідних концентрацій летких органічних сполук.

Для визначення концентрації органічних речовин використовували газовий хроматограф з полум'яно-іонізаційним детектором на капілярній колонці. Швидкість руху газового потоку вимірювали диференціальним мікроманометром і окремим датчиком швидкості руху повітря. Повноту окислення парів органічних речовин контролювали за допомогою газоаналізатора.

Глибину реакції окислення суміші парів оцінюють за ступенем конверсії за формулою:

$$S = \left((C_{\text{поч}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{поч}} \right) \times 100\%,$$

де S – ступінь конверсії;

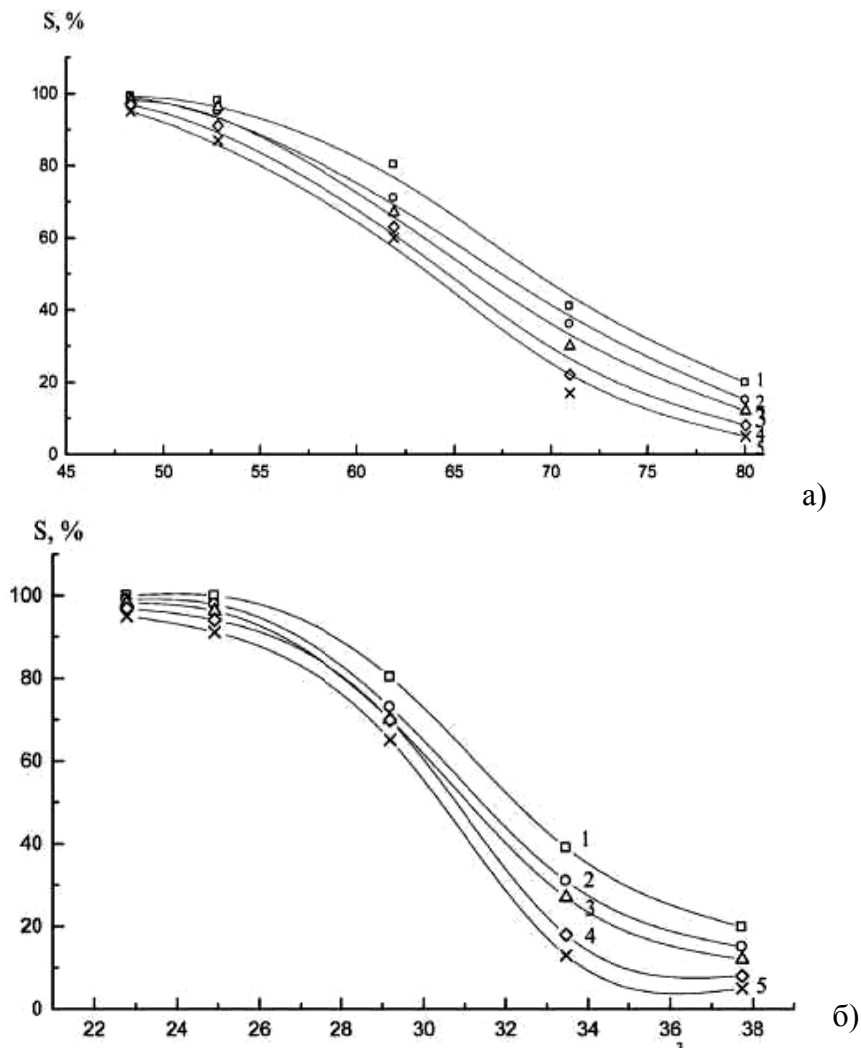
$C_{поч}$ – початкова концентрація органічних речовин у газовій суміші;

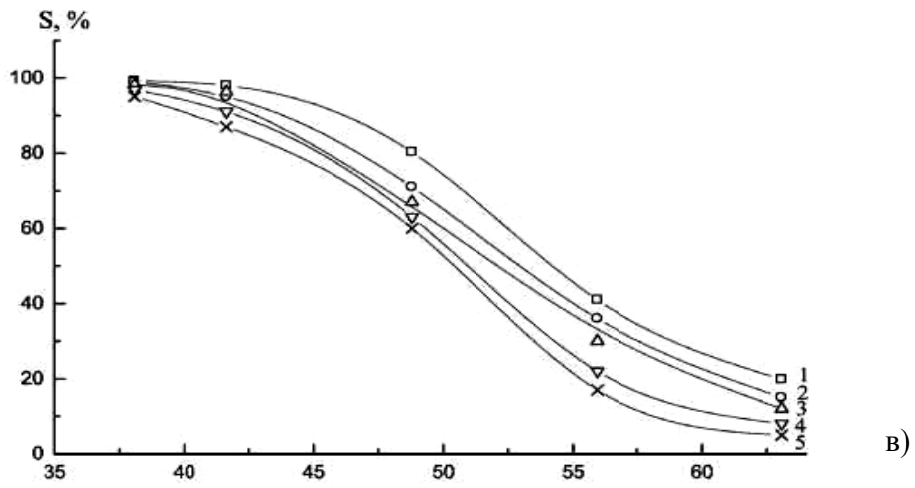
$C_{вих}$ – концентрація органічних речовин на виході з каталітичного реактора.

Як модельну використовували суміш етанол/етилацетат у співвідношенні 6:1. Отримані результати дозволили зробити висновок про те, що при оптимальних умовах, коли сумарна концентрація летких органічних сполук знаходиться в межах 50...70 мг/м³, ефективність очищення може досягати 99,7 %.

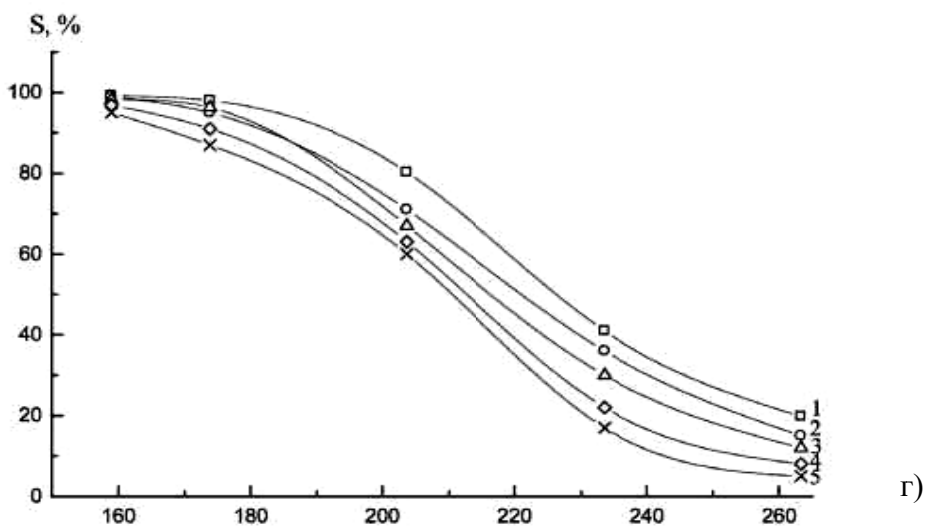
Результати. У ході проведених досліджень встановлено, що при лінійній швидкості подачі забрудненого повітря 0,5...1,1 м/с через внутрішній об'єм пористого каталітичного елемента (об'ємна швидкість фільтрації 50...70 л/год) і концентрацій індивідуальних сорбатів 20...170 мг/м³ ефективність очищення від речовин може досягати 93,2...99,7 %.

На рис. 2 наведено залежність ступеня конверсії парів від вихідної концентрації для різних витрат газоповітряної суміші.

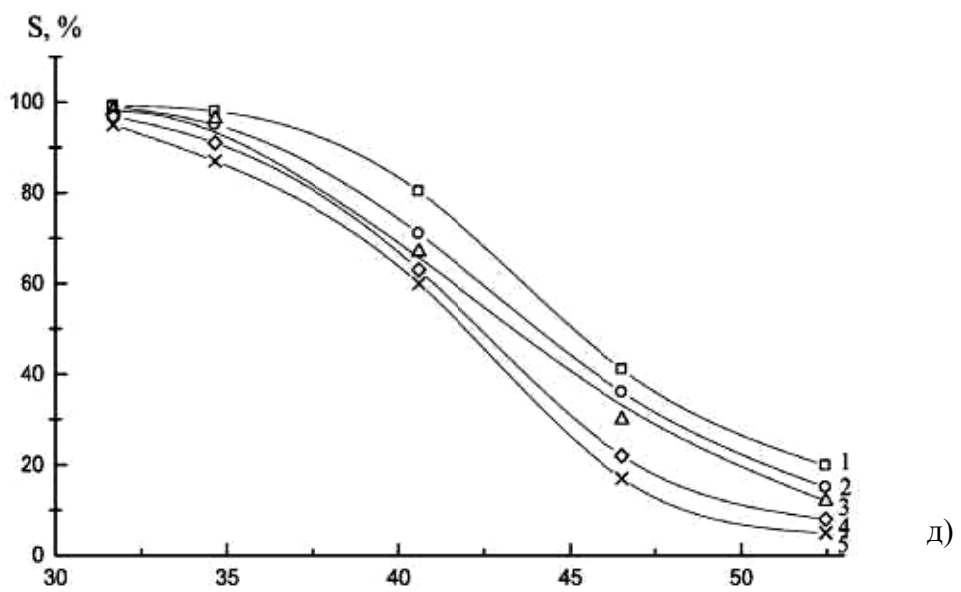




B)



Г)



Д)

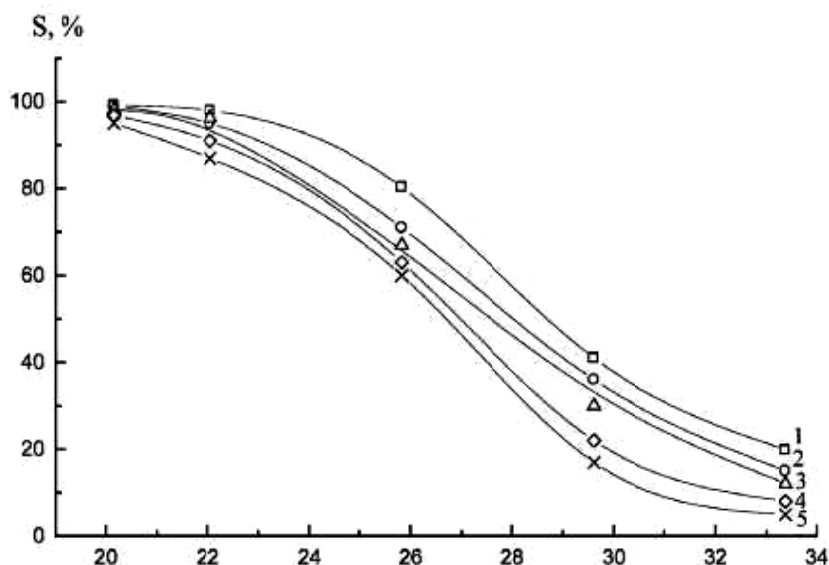


Рис. 3. Залежність ступеня конверсії парів ЛОС від вихідної концентрації для різних витрат газоповітряної суміші: а – ацетону; б – бутанолу; в – бутилацетату; г – толуолу; д – етанолу; е – етілцелозольву: 1 – 56 л/год.; 2 – 72; 3 – 115; 4 – 165; 5 – 246 л/год.

На рис. 3 наведено залежність ступеня конверсії парів сумарного розчинника. Оптимальними умовами проведення процесу є лінійна швидкість подачі забрудненого повітря 0,5...1,1 м/с через внутрішній об'єм пористого каталітичного елемента (об'ємна швидкість фільтрації 50...70 л/год.) і концентрація парів сумішевого розчинника 300...370 мг/м³. Ступінь конверсії досягає 94,8...99,1 %.

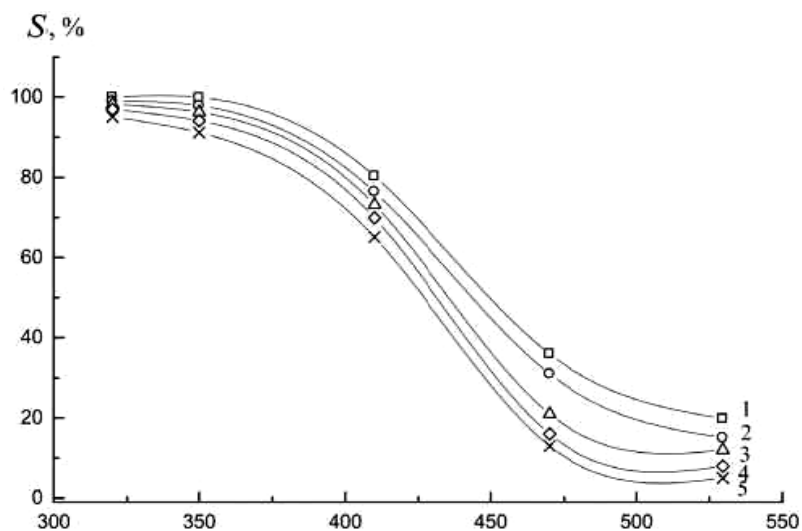


Рис. 4. Сумарна концентрація органічних речовин на вході в реактор, мг/м³

Висновки

У статті розглядається ефективність роботи установки для очищення повітря від органічних сполук фотокаталітичним методом. В якості фотокаталізатора використовують виключно TiO₂. За

результатами дослідження ефективність очищення від речовин може досягати 93,2...99,7 %, а на рис. 4 наведено залежність ступеня конверсії парів сумішевого розчинника. Кращими умовами проведення процесу є лінійна швидкість подачі забрудненого повітря 0,5...1,1 м/с через внутрішній об'єм пористого каталітичного елемента (об'ємна швидкість фільтрації 50...70 л/год.) і концентрація парів сумішевого розчинника 300...370 мг/м³. Ступінь конверсії досягає 94,8...99,1 %.

Список літератури

1. Методика выполнения измерений концентраций и выбросов загрязняющих веществ, скорости газов, температуры, влажности, давления электронными переносными приборами // МВИ. МН 1003–2007.

2. Панасюгин А. С. Окислительная активность адсорбентов-катализаторов на основе высококремнеземных цеолитов / А. С. Панасюгин, А. И. Ратько, Г. В. Бондарева // ЖПХ, 2002. – Т. 75. – № 11. – С. 1860–1863.

3. Ломоносов В. А. Катализаторы Pd/ γ -Al₂O₃ на ячеистых носителях для нейтрализации ЛОС / В. А. Ломоносов, А. С. Панасюгин, О. Л. Смoryго, В. А. Микуцкий и др. // Катализ в промышленности (ЖКП), 2010. – Т. 2. – № 6. – С. 55–61.

4. Методика выполнения измерений концентраций вредных веществ в газах, скорости воздуха (газа), дифференциального давления, влажности, температуры приборами фирм «Testo» и «Däger» MSI 150 // МВИ. МН 1003–2004.

Дата подання статті до збірника – 12.01.2016

Рецензент – д-р техн. наук Ткачук К. Н.