

УДК 681.121

Приміський В.П., Жужа А.В.

**ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА РОЗПОДІЛ ЗАРЯДІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ГРАФІКУ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУМУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗНАЧЕНЬ НАПРУГИ НАСИЧЕННЯ**

*В статті розглядається механізми утворення іонізаційного струму у полум'ї газового детектора, провідність іонізаційного газу, ступінь іонізації газу. Наведено аналіз областей вольт-амперної характеристики. Як відомо в усіх іонізаційних приладах, вольт-амперна характеристика має зазначені області - пропорційна область; область насичення, область ударної іонізації щоб з'ясувати область насичення поляризуючої напруги у полум'яно-іонізаційних детекторах та від чого вона залежить розглянуто теоретичні відомості з цього питання в даній роботі.*

*Ключові слова: іонізаційний струм, полум'яно-іонізаційний детектор*

*В статье рассматривается механизм образования тока ионизации в пламени газового детектора, проводимость ионизационного газа, степень ионизации газа. Приведен анализ областей вольтамперной характеристики. Как известно во всех ионизационных приборах, вольт-амперная характеристика имеет указанные области - пропорциональная область; область насыщения, область ударной ионизации чтобы выяснить область насыщенных поляризующего напряжения в пламенно-ионизационных детекторах и от чего она зависит рассмотрены теоретические сведения по этому вопросу в данной работе.*

*Ключевые слова: ионизационный ток, пламенно-ионизационный детектор*

*In the article the mechanisms of ionization current in the flame of a gas detector, gas ionization conductivity, degree of ionization. The analysis of areas of current-voltage characteristics. As is known to all ionization devices, the current-voltage characteristic is specified field - proportional region, saturation region, the area of impact ionization region to determine saturated polarization voltage in flame ionization detector and it depends on what the theoretical information on this subject in this paper.*

*Keywords: ionization current, flame ionization detector*

**Вступ:**

Джерелом іонізації полум'яно-іонізаційного детектору є водневе полум'я, в яке подається проба, що містить органічні речовини. У полум'я в результаті теплових і хімічних процесів відбувається іонізація газів, тобто у фронті полум'я з'являються позитивні і негативні заряди. Якщо таке полум'я помістити в електричне поле, то в ланцюзі з'явиться струм. Струм іонізації створюється спрямованим рухом частинок обох знаків. При цьому на швидке хаотичний рух частинок з тепловими швидкостями накладається швидкість, паралельна напрямку електричного поля. Вклад, внесений у величину струму, що з'являється позитивними іонами, малий у порівнянні з внеском електронів, тому що через відносно великої маси іони набувають під дією поля порівняно малій спрямованій швидкості. Постійний струм в полум'ї утворюється в основному стаціонарним потоком електронів, в яких сила, що діє з боку електричного поля, врівноважується силою тертя, обумовленої зіткненнями електронів і іонами і нейтральним атомами. Щільність струму обумовлена дрейфом заряджених частинок для іонізаційного струму дорівнює:

$$j = \delta E$$

Де:  $E$  – напруженність електричного поля;

$\delta$  – провідність іонізуючого газу;

$$\delta = \frac{n_e e^2}{n_0 m_e v_e \delta_a}, \quad \text{де}$$

$\frac{n_e}{n_0}$  – ступінь іонізації газу ( $n_e$  – концентрація електронів;  $n_0$  – концентрація нейтральних частиц)

$e$  – заряд електрону

$m_e$  – маса електрону;

$v_e$  – теплова швидкість електрону

$\delta_a$  – ефективний перетин зітхнення електронів з нейтральними частинками.

Таким чином, провідність іонізаційного газу прямо пропорційна ступеню іонізації газу і обернено пропорційна тепловій швидкості електронів. Ступінь іонізації газу залежить від температури полум'я та хімічного складу газу. Величина струму іонізації залежить від напруженості електричного поля між електродами.[1]

#### Теоретичні дослідження

Вольт-амперна характеристика ПД подібна характеристиці будь-якого іонізаційного приладу і має вигляд, наданий на рис 1. Баланс числа іонів, що утворюються і зникають у газовому проміжку між електродами, виражається рівнянням:

$$SL \frac{dn_0}{dt} = SL \left( \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} \right) - SL \frac{dn_p}{dt} - \frac{jS}{e} \quad (8)$$

де  $S$  і  $L$  – площа електродів і відстань між ними;

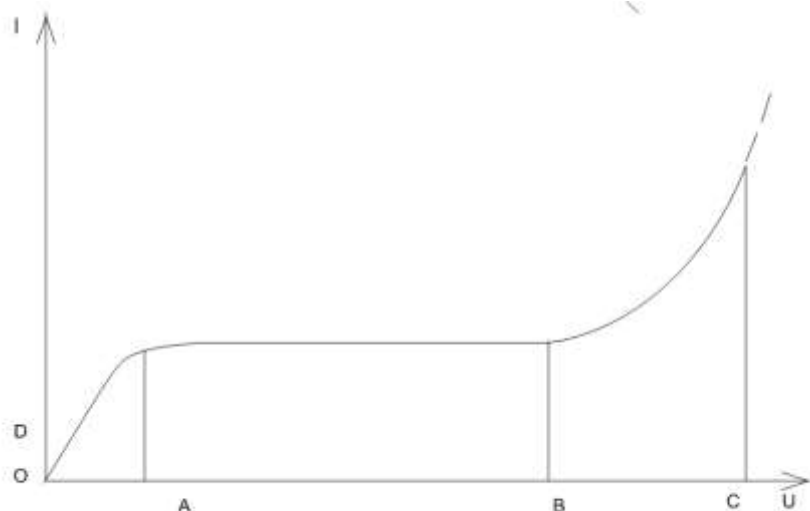
$n_0$  – загальне число нейтральних частинок в об'ємі між електродами;

$n_e$  – число електронів в об'ємі між електродами;

$n_i$  – число позитивних іонів

$n_p$  – число пар іонів, що взяли участь в рекомбінації;

$\frac{jS}{e}$  – число пар іонів, що розряджаються на електродах



ОА - пропорційна область до (5-20) В; АВ - область насичення до (200-300) В; ВС - область ударної іонізації; С - напруга пробою проміжку пальник-колектор ПД; D - початковий (фоновий) струм ПД [2]

Баланс числа іонів, що утворюються і зникає в газовому проміжку між електродами, виражається рівнянням:

$$\frac{dn_0}{dt} = \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} - \frac{dn_p}{dt} - \frac{j}{eL} \quad (9)$$

При рівномірній іонізації через певний проміжок часу встановлюється рівновага між числом виникаючих і зникаючих іонів і рівняння приймає вигляд:

$$\frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \frac{dn_p}{dt} + \frac{j}{eL} \quad (10)$$

У слабких електричних полях щільність струму незначна і кількість іонів, що розряджаються на електродах, мало в порівнянні з числом іонів, що рекомбінують в об'ємі газу:

$$\frac{j}{eL} \ll \frac{dn_p}{dt} \text{ ма } \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \frac{dn_p}{dt} \quad (11)$$

тобто кількість іонів в газі визначається вірогідністю іонізації і рекомбінації і практично не залежить від щільності струму.

В цьому випадку залежність  $j=E$  підкоряється закону Ома з постійною електропровідністю (ділянка О-А). У протилежному, граничному випадку сильних полів, щільність струму велика і практично всі іони, що утворюються в об'ємі газу, йдуть до електродів, не встигаючи рекомбінувати. В цьому випадку

$$\frac{dn_p}{dt} \ll \frac{j}{eL} \quad \text{та} \quad \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \frac{j}{eL} \quad (12)$$

$$\text{У сталому режимі} \quad \frac{dn_e}{dt} + \frac{dn_i}{dt} = \text{const} \quad (13)$$

При цьому  $j = KeL = \text{const}$ , т. е з подальшим підвищенням прикладеної напруги струм перестає рости і залишається постійним (ділянка А-В).

У полум'яно-іонізаційних детекторах, як правило, використовується область насичення поляризованої напруги. Напруга насичення залежить від форми і розташування електродів і від кількості речовини, що поступає в полум'я в одиницю часу. Напруга насичення в полум'яно-іонізаційних детекторах коливається в межах від 20 до 300 В. При подальшому підвищенні напруги вольт-амперна характеристика знову піднімається. Це пов'язано з тим, що вступає в дію ударна іонізація. При цьому кількість зарядів може збільшуватися за рахунок вибивання електронів з електродів. Довгий час вважалося, що робота датчика в області ударної іонізації є малоперспективною. Проте проведені дослідження показали, що за областю насичення робота детектора цілком можлива, і робота в цій області має ряд переваг. Характерний, що при такому методі вимірювання значно збільшується не тільки сигнал полум'яно-іонізаційного датчика (за даними роботи на два порядки), але і в певних межах співвідношення "сигнал-шум". Якнайкраще співвідношення "сигнал-шум" виходить при напрузі, рівній близько 60% напруги пробною даного проміжку колектор-пальник.[3]

### Ударна іонізація.

Не слід нехтувати можливістю режиму ударної іонізації.

При поміщенні водневого полум'я в електричне поле, утворюються іони і досягають електродів. Водень виходить з сопла на кінці колонки разом з газо-носієм. Сопло і електроди знаходяться в закритому корпусі, до якого подається також повітря, необхідний для згорання водню. Величина іонізаційного струму в момент часу  $t$  виражається як

$$I(t) = \left( \frac{dz_i}{dt} + \frac{dz_i}{dt} - \frac{dz_i}{dt} + \frac{dz_0}{dt} \right) e \quad [a], \quad (14)$$

де  $Z_{iT}$  та  $Z_{iS}$  - число іонів, що виникають за рахунок термічної і ударної іонізації;

$Z$  і  $R$  - число позитивних однозарядних іонів компонентів  $i$ , які взяли участь у рекомбінації;  $e$  - електричний елементарний заряд. Член  $\frac{dz_0}{dt}e$  являє фоновий струм детектора. Для подальшого виведення він не має значення і їм можна знехтувати. Тоді  $z$

$$\frac{dz_{iT}}{dt} + \frac{dz_{iS}}{dt} - \frac{dz_{iR}}{dt} = \frac{1}{e} I(t). \quad (15)$$

Загальне число носіїв заряду компонента  $i$ , що потрапляє на електроди, можна знайти шляхом інтегрування іонізаційного струму від початку ( $t_B$ )

До кінця ( $t_E$ ) надходження речовини в детектор:

$$Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR} = \frac{1}{e} \int_{t_B}^{t_E} I(t) dt. \quad (16)$$

Іонізаційний струм створює на високоомному вимірювальному опорі вимірне падіння напруги. Однак, внаслідок того, що вхідний опір реєструючого приладу на десять порядків менше вимірювального, для узгодження цих опорів потрібен додатковий прилад. Напруга з вимірювального опору подається на сітку вхідної лампи електрометрії (підсилювача постійного струму). Може застосовуватися також електрометр з динамічним конденсатором. Тоді напруга, що подається з виходу електрометрії на самописний потенціометр і реєстроване їм, до моменту часу  $t$  складе

$$U(t) = E_v I(t), \quad (17)$$

**Визначення іонізаційного струму.**

Де  $E_v$  - чутливість електрометрії. Підставляючи вираз , отримуємо остаточно

$$Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR} = \frac{1}{eE_v} \int_{t_B}^{t_E} U(t) dt.$$

Інтеграл представляє площу  $A_i$  піку компонента  $i$  на хроматограмі. Відносячи його до кількості  $m_i$ , що дозується компонента  $i$ , отримуємо чутливість вимірювального пристрою

$$E_A = \frac{A_i}{m_i} = \frac{eE_v (Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR})}{m_i}, \quad \left[ \frac{\text{В} \cdot \text{сек}}{\text{г}} \right]. \quad (18)$$

Чутливість детектора, навпаки, визначається як кількість заряду  $Q_i$ , створеного певною кількістю речовини компонента  $i$  в 1 сек:

$$E_D = \frac{Q_i}{m_i} = \frac{e(Z_{iT} + Z_{iS} - Z_{iR})}{m_i}, \quad \left[ \frac{\text{а} \cdot \text{сек}}{\text{г}} \right], \quad (19)$$

Тобто визначається числом позитивних однозарядних іонів, зібраних електродами. Обидва чинники надалі будуть розглянуті більш докладно.

**Висновки:**

Проведене теоретичне дослідження іонізаційного току ПД, показало, що у полум'яно-іонізаційних детекторах, як правило, використовується область насичення поляризуючої напруги. Напруга насичення залежить від форми і розташування електродів і від кількості речовини, що поступає в полум'я в одиницю часу, визначення іонізаційного току через чутливість детектору, яка визначається числом позитивних однозарядних іонів, зібраних електродами.

## Література:

1. Лейте В. Визначення забруднення повітря в атмосфері та на робочому місці / В. Левте [пер. з другого німецького видавництва А.Ф. Дашкевич]. —Л.: Хімія, 1973. —287.
2. Примиський В.Ф., Жужа А.В. «Генератор чистого водню для полум'яно-іонізаційних газоаналізаторів»// Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. -№5.-С. 29-32.
3. В.А. Барикіна, В.І. Ларченко, Ю.Н. Медяновський, В.І. Погребняк, Л.А. Конопелько, А.Б. Гринберг. «Оцінка методичної похибки вимірювань сумарної концентрації вуглеводнів в атмосферному повітрі» // Наукові труди «ВНИИАП», Методи та прилади для аналізу складу речовин. 1976. -№4.- С.44-45.