

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРЬКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Тютюнник Вадим Володимирович**

УДК 543.4

**ПРИСТРІЙ ТА ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ОПТИЧНИЙ МЕТОД  
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГОРЮЧИХ СКЛАДОВИХ  
У БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

Спеціальності 05.11.13 – Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Академії пожежної безпеки України, Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, м. Харків

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
Тюрін Станіслав Олександрович

Академія пожежної безпеки України,  
професор кафедри фундаментальних дисциплін.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Шапорев Валерій Павлович,  
Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”,  
завідувач кафедри хімічної техніки і промислової екології.  
кандидат технічних наук, доцент  
Мельник Сергій Іванович,  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
докторант кафедри фізики.

Провідна установа: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України, відділ оптико-електронних інформаційних систем,  
м. Львів.

Захист відбудеться „ 16 ” жовтня 2003 року о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 при Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут” за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий „ 8 ” вересня 2003 року.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Горкунов Б.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Своєчасне визначення в атмосфері виробничого середовища підприємств хімічної, нафтохімічної і вугільної промисловості складу горючих компонентів на етапі їх утворення та встановленню динаміки зміни їх концентрацій є актуальною задачею.

Аналіз існуючих пристроїв виявлення та дослідження багатокомпонентних газових середовищ свідчить про їх істотну обмеженість за основними параметрами, до яких, насамперед, належать чутливість, вибірковість, швидкодія при вимірі в автоматичному режимі в реальному масштабі часу без проведення додаткових дій щодо підготовки проби. Практично реалізовані на цей час методи, як правило, передбачають проведення операції відбору і підготовки проби, та значний обсяг видаткових матеріалів. При цьому час одержання інформації про стан газоповітряного середовища об'єкта, що охороняється, збільшується, в наслідок чого, час для вживання профілактичних заходів скорочується. У зв'язку з цим з'являється необхідність розробки пристрою раннього виявлення горючих компонентів у багатокомпонентних газових середовищах (в реальному масштабі часу; в автоматичному режимі; без проведення допоміжних операцій щодо підготовки проби).

Дисертаційна робота присвячена створенню пристрою для неруйнівного контролю складових газоповітряного середовища промислових підприємств, який базується на застосуванні методу молекулярної оптики, що дозволить підвищити рівень інформативності молекулярного аналізу газових багатокомпонентних середовищ ще на етапі появи горючих компонентів (метод електричної подвійної променезаломлюваності (ЕППЗ), заснований на явищі Керра).

**Зв'язок роботи с науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційні дослідження проводились у рамках науково-дослідної роботи “Дослідження фізико-хімічних особливостей процесів горіння та методи електрооптики” (№ державної реєстрації 0198U007362).

**Мета і задачі дослідження.** Мета дослідження полягає: у теоретичному та експериментальному обґрунтуванні використання методу ЕППЗ для підвищення рівня інформативності молекулярного аналізу газових багатокомпонентних середовищ на етапі появи горючих компонентів; створенні пристрою, в основі роботи якого лежить метод заснований на явищі Керра, для своєчасного попередження виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з пожежами та вибухами на промислових об'єктах.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз методів та засобів контролю горючих компонентів в багатокомпонентних газових середовищах;
- розробити моделі електричного поля, діючого на молекулу горючої компоненти та її дипольної поляризації, які будуть використовуватися при описі явища Керра у багатокомпонентних газових середовищах;

- провести експериментальну перевірку моделей електричного поля на аналізовану молекулу і її дипольної поляризації на стандартній апаратурі фізико-хімічного аналізу;
- побудувати модель електричного поля та електричної поляризації на основі явища Керра в багатоконпонентних газових середовищах;
- розробити структурну схему пристрою визначення в реальному масштабі часу горючих компонентів в багатоконпонентних газових середовищах;
- розробити зразок пристрою для визначення горючих компонентів в атмосфері виробничого середовища;
- провести експериментальні дослідження на розробленому зразку пристрою його можливостей у ідентифікаційно-концентраційному контролі горючих газових середовищ.

*Об'єкт дослідження* – ефект електричної подвійної променезаломлюваності у газових багатоконпонентних середовищах, на основі якого побудовано метод ідентифікації горючих складових в атмосфері виробничого середовища.

*Предмет дослідження* – пристрій для ідентифікації горючих складових у газових багатоконпонентних середовищах, який базується на методі електричної подвійної променезаломлюваності.

*Методи досліджень* – методи континуального та статистичного описів електроорієнтаційних явищ в молекулярних середовищах; теорія електричного поля; рівняння Максвелла; асимптотичні методи розв'язання диференційних рівнянь; тензорне числення; методи матричної оптики в параксіальному наближенні; метод виміру дієлькометричних та електрооптичних параметрів середовища; теорія електричних ланцюгів; методи оцінки похибки результатів вимірів; статистичні методи обробки інформації.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

- розроблено фізичну модель електричного поля, що діє на молекулу середовища, так званого внутрішнього поля;
- на основі розробленої моделі внутрішнього поля запропоновано: математичну модель електричної поляризації молекули середовища, що враховує як фізико-хімічні властивості середовища, так і значення напруженості прикладеного електричного поля; модельний опис ефекту електричної подвійної променезаломлюваності молекулярного середовища, де встановлено залежність між кутом повороту площини поляризації світлового потоку, який проходить скрізь середовище, та значенням електричної (дипольної та індукованої) поляризації молекули, що знаходиться під дією внутрішнього поля;
- побудовано модель явища Керра в багатоконпонентних газових середовищах; визначена математична залежність між поляризаційними властивостями світлового потоку, який проходить скрізь досліджуєму сполуку, та анізотропними оптичними властивостями газового багатоконпонентного середовища, яке знаходиться під дією електричного поля;

- на основі запропонованих моделей, що побудовані на явищах дипольної поляризації та Керра в молекулярних багатокомпонентних середовищах отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначати якісно-кількісний склад середовища за наступними параметрами: дипольними моментами молекул; величиною ЕППЗ і молярною константою Керра як фундаментальною молекулярною характеристикою речовини; молярною константою Керра досліджуваного горючого компонента при його наявності в багатокомпонентній газовій суміші;
- доведена можливість приладової реалізації методу електричної подвійної променезаломлюваності для ідентифікаційного контролю горючих багатокомпонентних газових середовищ;
- теоретично обґрунтовано та створено пристрій для дослідження багатокомпонентних пожежонебезпечних середовищ;
- доведено доцільність використання означеного пристрою та розроблено алгоритм його застосування на промислових об'єктах з метою раннього визначення горючих складових у газових багатокомпонентних середовищах.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані теоретичні й експериментальні результати мають практичне значення: по-перше, для різного роду промислових об'єктів де виробляються, зберігаються чи обертаються в технологічних процесах горючі речовини або гази, і де стоїть питання їх ідентифікації та визначення пожежного стану газоповітряного середовища шляхом: виявлення в експрес режимі горючих компонентів в атмосфері виробничого середовища (шахти, об'єкти паливно-енергетичного комплексу) що є одним із визначальних заходів забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності; по-друге, для встановлення динаміки зміни концентрації горючих компонентів газового середовища з метою формування інформаційних даних для прийняття рішень, спрямованих на зниження рівня пожежної небезпеки об'єкта; по-третє, для прогнозування небезпечних ситуацій, пов'язаних з пожежами та вибухами на зазначених промислових об'єктах; по-четверте, для формування банку даних для своєчасної ідентифікації і контролю шкідливих речовин або їх сполук, утворення яких може бути ініційоване як порушеннями технологічних процесів, так і безпосередньо процесом горіння.

Запропонований в роботі метод та пристрій можна використовувати при проектуванні установок, принцип роботи яких засновано на методі електричної подвійної променезаломлюваності, для контролю небезпечних ситуацій, пов'язаних з пожежами та вибухами на промислових об'єктах

Математична модель якісно-кількісного аналізу середовища та розроблена експериментальна установка застосовується при проведенні сертифікаційного контролю продукції ТОВ «Інтер АМІ». Отримані наукові результати використовуються у навчальному процесі Академії пожежної безпеки України при проведенні лекцій та практичних занять з дисципліни «фізика».

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійною науково-дослідницькою роботою. Особистий внесок автора складається: у проведенні аналізу існуючих засобів контролю

газових середовищ, на основі якого було показано доцільність розповсюдження методів поляризаційної оптики для контролю горючих компонентів у атмосфері промислових об'єктів; у теоретичній та експериментальній обґрунтованості використання явища Керра для раннього визначення горючих компонентів в газових середовищах; у розробці та створенні пристрою для дослідження багатокомпонентних пожежонебезпечних середовищ; у розробці алгоритму використання розробленого пристрою для раннього виявлення горючих компонентів в багатокомпонентних газових середовищах та прогнозування часу утворення пожежонебезпечних ситуацій на промислових об'єктах.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на:

- III конференція країн СНД з екології хімічних виробництв “Экология – 98” (м. Сєверодонецьк, 1998 р.);
- IV науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 1999” (м. Черкаси, 1999р.);
- XV Міжнародній науково-технічній конференції “Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков” (м. Москва, 1999 р.);
- I I Всеукраїнській конференції молодих вчених “Ком’ютерне моделювання та інформаційні технології в прикладних науках” (м. Кривий Ріг, 2000 р.);
- V Міжнародному молодіжному форумі “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке” (м. Харків, 2001 р.);
- XVI Міжнародній науково-технічній конференції “Крупные пожары: предупреждение и тушение” (м. Москва, 2001 р.)
- V Всеукраїнській науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 2001” (м. Львів, 2001 р.).

**Публікації.** Основний зміст роботи опубліковано у 19 наукових роботах, із них 10 тезисних доповідей на конференціях та 9 статей у виданнях, внесених до переліку ВАК України.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та двох додатків. Повний обсяг дисертації складає 152 сторінки, з них: 23 ілюстрації по тексту; 13 таблиць по тексту; 2 додатка на 3 стор.; 109 найменувань використаних літературних джерел на 10 стор.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У першому розділі розглянуто особливості протипожежного захисту промислових підприємств хімічної, нафтохімічної та вугільної промисловості; проведено аналіз основних причин, що призводять до виникнення та розвитку пожеж; встановлено, що основним фактором пожежної небезпеки являється витікання (випарювання) горючої сировини. Надійним способом визначення

аварійного витікання горючої сировини на вказаних промислових об'єктах є застосування методів та засобів якісно-кількісного контролю газоповітряних середовищ і встановлення динаміки їх складу. Втім, якщо не вчасно визначити момент появи горючих компонентів в промисловому середовищі та встановити динаміку зміни їх концентрації, можливо створення вибухонебезпечної загрози. Проведений аналіз існуючих методів і засобів дослідження багатокомпонентних газоповітряних середовищ демонструє їх значну обмеженість за основним параметром як-то чутливість, вибірковість, швидкодія при проведенні вимірів. Встановлено, що одним із методів, який можливо застосовувати для автоматичного контролю горючих компонентів в багатокомпонентних промислових газоповітряних середовищах є метод електричної подвійної променезаломлюваності, практична реалізація якого значно підвищить рівень інформативності молекулярного аналізу газоповітряних середовищ на стадії появи горючих компонентів.

У другому розділі розроблена структурна схема пристрою, робота якого базується на методі ЕППЗ, для раннього виявлення в реальному масштабі часу та автоматичному режимі, без проведення додаткової операції підготовки проби горючих складових в багатокомпонентному газоповітряному середовищі.

Структурна схема пристрою раннього виявлення горючих складових в багатокомпонентних газоповітряних середовищах наведена на рис. 1, де: 1 – He-Ne лазер; 2 – розщеплювач; 3 – оптичний модулятор; 4<sup>a</sup> та 4<sup>b</sup> – півпрозорі дзеркала; 5<sup>a</sup> та 5<sup>b</sup> – фотодіоди; 6 – суматор; 7 – посилювач постійного току; 8 – блок формування напруги на оптичні модулятор; 8<sup>a</sup> та 8<sup>b</sup> – поляризатори; 9<sup>a</sup> та 9<sup>b</sup> – афокальна система лінз; 10 – генератор опорного сигналу; 11 – амплітудний модулятор; 12 – генератор пилоподібної напруги; 13<sup>a</sup> та 13<sup>b</sup> – вольтметри; 14<sup>a</sup> та 14<sup>b</sup> – вимірювальні чарунки Керра; 15<sup>a</sup> та 15<sup>b</sup> – посилювачі потужності; 16<sup>a</sup> та 16<sup>b</sup> –  $\lambda/4$ - пластинки; 17<sup>a</sup> та 17<sup>b</sup> – аналізатори, схрещені с поляризаторами; 18<sup>a</sup> та 18<sup>b</sup> – фотоприймачі; 19 – схема порівняння електричних сигналів; 20 – посилювач перемінного струму; 21 – перемножувач інформаційного та опорного сигналів; 22 – інтегратор; 23 – посилювач постійного струму.

Побудова математичної моделі явища ЕППЗ в багатокомпонентних газових середовищах здійснювалася з урахуванням характеру локальної анізотропії поляризаційних здібностей багатокомпонентних газових середовищ. Врахування цього характеру здійснено шляхом введення моделі електричного поля, діючого на молекулу багатокомпонентного газового середовища (внутрішнього поля) у наступному вигляді:

$$\vec{G} = g(x)\vec{E} = \frac{2\varepsilon_m - 2\varepsilon_m^2 + \ln \varepsilon_m}{38,48n^3 \sqrt{\left(\frac{n^2}{\varepsilon_B}\right)^p} (1 - \varepsilon_m)} \vec{E}; \quad (1)$$

$$\bar{R} = f(x)\bar{m} = 0.7^{p9} \sqrt{\left(\frac{n^2}{\varepsilon_B}\right)^p} \left( 0.7^{p9} \sqrt{\left(\frac{n^2}{\varepsilon_B}\right)^p} - \frac{\ln \varepsilon_m}{2\varepsilon_m n^2} \right) \frac{\bar{m}}{x^{*3}}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_m = \left(\frac{\varepsilon_B}{n^2}\right)^\xi J_p(10x_1) + n^2$ ;  $x_1 = \sqrt[9]{n^2/\varepsilon_B}$ ;  $x^* = 0.7x_1$ ;  $p = 9,62\sqrt[9]{n^2/\varepsilon_B}$  – порядок функції Бесселя  $J_p(x)$ ;  $\varepsilon_B$  і  $n^2$  – діелектрична проникність і показник заломлювання середовища;  $\bar{m}$  – дипольний момент молекули;  $\vec{E}$  – величина прикладеного електричного поля. Моделі внутрішнього поля до цього використовувалася лише при описі поляризаційних властивостей рідинофазних діелектриків.

З урахуванням запропонованої моделі внутрішнього поля, в роботі отримані аналітичні вирази для визначення складу молекулярного середовища та ідентифікації компонентів за величинам дипольних моментів їх молекул. Для чистих речовин (3), для бінарної суміші ( $i=1$  – розчинник;  $i=2$  – розчинна речовина) (4) – полярне в неполярному, (5) – полярне в полярному.

$$\mu_g^2 = \frac{3k_B T (1 - \alpha^e f(x))^3 (\varepsilon_m - (1 + (1 - \alpha^e f(x))A))}{4\pi N_A \left[ 1 + \alpha^e f(x) - \alpha^e f(x)^2 + \alpha^e f(x)^3 \right] g(x)}, \quad (3)$$

$$\mu_{02}^2 = \frac{3k_B T (\varepsilon_1 - 1) M_2}{4\pi N_A \rho_1 g_{1H} g_{1j}} \frac{(1 - \alpha_2 f_{2H})(1 - \alpha_2 f_{2ons})^2}{\left( 1 + \alpha_2 f_{2ons} - \alpha_2^2 f_{2ons}^2 + \alpha_2^3 f_{2ons}^3 \right)} \left[ 1 - \beta - \frac{d}{dx_2} (\ln g_{0ons}) + \frac{\delta \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - 1} - 2 \frac{\alpha_1^2 f_{1ons}}{1 - \alpha_1 f_{1ons}} \frac{d}{dx_2} (f_{0ons}) + \frac{M_2 \rho_1 (1 + \alpha_1 f_{1ons})}{M_1 \rho_2} \right]_{x_2=0}, \quad (4)$$

$$\mu_{02}^2 = \frac{3k_B T (\varepsilon_1 - 1) M_2}{4\pi N_A \rho_1 g_{1H} g_{1ons}} \frac{(1 - \alpha_2 f_{1H})(1 - \alpha_2 f_{1ons})^2}{\left( 1 + \alpha_2 f_{1ons} - \alpha_2^2 f_{1ons}^2 + \alpha_2^3 f_{1ons}^3 \right)} \left\{ 1 - \beta - \frac{d}{dx_2} (\ln g_{0ons}) + \frac{\delta \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - 1} - \frac{(1 - 3\alpha_1 f_{1ons} + 3\alpha_1^2 f_{1ons} - 3\alpha_1^3 f_{1ons}^2)}{(1 - \alpha_1 f_{1ons})(1 + \alpha_1 f_{1ons} - \alpha_1^2 f_{1ons}^2 + \alpha_1^3 f_{1ons}^3)} \right\} \times \left. \frac{d}{dx_2} (f_{0ons}) + \frac{M_2 \rho_1 (1 + \alpha_1 f_{1ons})}{M_1 \rho_2} \right\}_{x_2=0}, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – величина молекулярної поляризуємості;  $g_{ions}, f_{ions}$  – множники поля порожнини і реактивного поля визначені по Онсагеру;  $g(x), f(x)$  – по (1);  $M$  і  $\rho$  – молярна маса і густина речовини;  $T$  – температура, К;  $k_B$  – стала Больцмана, Дж/К;  $N_A$  – число Авогадро.

На наступному етапі теоретичних досліджень була побудована математична модель для визначення складу молекулярного середовища за величиною електричної подвійної променезаломлюваності та молярною константою Керра, як фундаментальною характеристикою речовини. Для чистих речовин (6), для бінарної суміші (7).

$$K_H^{(Ж)} = 3\pi N (g_{окр} g_{ш})^{*2} \left[ Z_2 \Theta_1(\Gamma) + \frac{Z_1^2}{\left[ 1 - \alpha^e (f_{окр} + f_{ш}) \right]^2} \Theta_2(\Gamma) \right] \frac{(n^2 + 2)}{n^2}, \quad (6)$$



$$\begin{aligned}
{}_m K_2^{(\Gamma)} \equiv \left( {}_m K_2^{(K)} \right) = A \frac{3\lambda n(\lambda)_1 B_1 M_2}{g_{ш1} g_{окр1} (n(\lambda)_1^2 + 2) \rho_1} \left\{ 1 + \xi^* + \gamma^* \frac{2 - n(\lambda)_1^2}{n(\lambda)_1^2 + 2} - \right. \\
\left. - \beta^* - 2 \left( \frac{d}{dx_2} \ln g_{окр0} \right)_{x_2 \rightarrow 0} - C \right\} + D
\end{aligned} \quad (7)$$

де  $Z_1 = 1 + \alpha e^{(f_{окр} + f_{ш})} - \alpha e^2 f_{окр} (f_{окр} + f_{ш}) + \alpha e^3 f_{окр} (f_{окр}^2 + f_{ш}^2)$ ;  $Z_2 = (1 - \alpha e^2 f_{окр}^2)$ ;  $\Theta_1^{(\Gamma)}, \Theta_2^{(\Gamma)}$  – анізотропний та дипольний члени, які визначаються в теорії Ланжевена-Борна;  $g_{окр}$  і  $f_{окр}$ ,  $g_{ш}$  і  $f_{ш}$  – множники поля порожнини і реактивного поля, що визначаються моделлю Онсагера та запропованою (1) і (2), відповідно;  $A$ ,  $C$  и  $D$  – коефіцієнти, які враховують властивості поляризуємості молекул розчинника і розчиненої речовини;  $B$  – величина ЕППЗ, яка визначається експериментально. Тут у поляризаційних характеристиках досліджуваного середовища, при його знаходженні в електричному полі, враховуються не тільки орієнтаційні (3 – 5), а й індуковані властивості молекул аналізованої компоненти, що підвищує інформативність ідентифікаційного аналізу середовища.

З урахуванням отриманих результатів, у роботі запропонована математична модель для ідентифікації компоненти ( $j = w$ ) в багатоконпонентному ( $j = \mathfrak{R}$ ) промисловому середовищі ( $\mathfrak{R} \geq 4$ ) у виді:

$$\begin{aligned}
{}_m K_w = A \frac{3\lambda n(\lambda)_{\mathfrak{R}-w}^2 B_{\mathfrak{R}-w} M_{\mathfrak{R}-w}}{(g_{шw} g_{Онск} g_{Лор\mathfrak{R}})^2 (n_{\mathfrak{R}-w}^2 + 2) \rho_{\mathfrak{R}-w}} \left\{ 1 + \xi_{\mathfrak{R}-w}^* + \gamma_{\mathfrak{R}-w}^* \frac{2 - n_{\mathfrak{R}-w}^2}{n_{\mathfrak{R}-w}^2 + 2} - \right. \\
\left. - \beta_{\mathfrak{R}-w}^* - 2 \left[ (g_{ш\mathfrak{R}-w} g_{Онск\mathfrak{R}-w})^2 - (g_{шw} g_{Онск})^2 \right] \left( \frac{d}{dx_2} \ln g_{Лор\mathfrak{R}} \right)_{x_w \rightarrow 0} \right\}
\end{aligned} \quad (8)$$

де  $g_{шj}$  і  $f_{шj}$ ,  $g_{Онскj}$  і  $f_{Онскj}$ ,  $g_{Лорj}$  – коефіцієнти поля порожнини і реактивного поля шару, його оточення та оточення порожнини Лоренца, що визначаються із моделей внутрішнього поля – (1) і (2), Онсагера і Лоренца;  $\xi_{\mathfrak{R}-w}^*$ ,  $\gamma_{\mathfrak{R}-w}^*$ ,  $\beta_{\mathfrak{R}-w}^*$  – коефіцієнти які визначаються з умови лінійних залежностей електрооптичних параметрів і дієлькометричних характеристик газу, які залежать від концентрації визначаємого компонента:  $B_{\mathfrak{O}} = B_{\mathfrak{R}-w} (1 + \xi_{\mathfrak{R}-w} x_w)$ ,  $\rho_0 = \rho_{\mathfrak{R}-w} (1 + \beta_{\mathfrak{R}-w} x_w)$ ,  $n(\lambda)_0 = n(\lambda)_{\mathfrak{R}-w} (1 + \gamma_{\mathfrak{R}-w} x_w)$ ,  $\varepsilon_0 = \varepsilon_{\mathfrak{R}-w} (1 + \delta_{\mathfrak{R}-w} x_w)$ , де  $\varepsilon_0$  и  $n(\lambda)_0$  – діелектрична проникність і показник заломлювання газової суміші, що досліджується. Вираз (8) дозволяє за значенням показника величини електричної подвійної променезаломлюваності, вимірюваних запропонованим пристроєм (рис. 1), визначати індивідуальну молекулярну характеристику досліджуваної компоненти середовища – молярну константу Керра. Це дозволить ідентифікувати її в багатоконпонентному газоповітряному середовищі.

У третьому розділі проведена перевірка достовірності запропонованої моделі внутрішнього поля, та отриманих аналітичних виразів для якісно-кількісного контролю молекулярних середовищ за величинами дипольних моментів молекул і електричної подвійної променезаломлюваності.

Експериментальне дослідження розробленої моделі дипольної поляризації молекулярних середовищ проводилося на стандартній апаратурі фізико-хімічного аналізу. Отримані результати для чистих речовин представлені у виді графічних залежностей (рис. 2), де  $\mu_{g\eta}$  – величина дипольного моменту яка отримана в рамках моделей:  $\eta=1$  - по Онсагеру,  $\eta=2$  - по Блоку-Уолкеру,  $\eta=3$  - (2);  $\epsilon_B$  – діелектрична проникність;  $n^2$  – показник заломлювання).

Як видно з рис. 2, найбільші розходження між розрахунковими і експериментально отриманими величинами дипольних моментів виявляються в областях малих ( $\epsilon_B < 8n^2$ ) і великих ( $\epsilon_B > 15n^2$ ) значень  $\epsilon$  і  $n^2$  середовища. Результати експериментальної перевірки моделі дипольної поляризації бінарних розчинів представлені на рис. 3. Тут розчинниками в серії розчинів полярне в неполярному служили деякі представники неполярних. Дискретні ряди диелькометричних значень цих речовин склали наступні інтервали:  $1.88 \leq \epsilon_1 \leq 2.62$  ;  $1.38 \leq n_1 \leq 1.55$  ;  $0.66 \leq \rho_1 \leq 1.58$  . Розчинниками в серії розчинів полярне в полярному служили полярні органічні речовини з  $2.42 \leq \epsilon_1 \leq 37.4$  ;  $1.34 \leq n_1 \leq 1.4$  ;  $0.7 \leq \rho_1 \leq 1.34$  і  $0.66D \leq \mu_{g1} \leq 3.5D$  .

Таблиця 1

Експериментально та розрахунково отримані значення констант Керра для чистих органічних речовин

Речовина	$B_3 \cdot 10^8$ (ед. СГСЕ)	$\Delta B_{Д.}$	$\Delta B_{Он.}$	$\Delta B_{В.-W.}$	$\Delta B_{В.-З.}$	$\Delta B_{Н.}$
р-ксилол	6,800	1,513	1,474	0,818	0,397	0,201
мезитилен	6,211	1,154	1,446	0,776	0,310	0,177
бензол	3,552	1,329	1,440	0,800	0,313	0,146
н-додекан	1,106	0,448	0,363	0,209	0,199	0,107
н-октан	0,713	0,234	0,196	0,128	0,140	0,090
н-гептан	0,631	0,165	0,148	0,119	0,120	0,053
н-гексан	0,499	0,169	0,142	0,101	0,098	0,011
н-пентан	0,452	0,107	0,090	0,090	0,073	0,009
нітрометан	193,232	10,544	4,715	1,621	0,507	0,171
хлороформ	-27,412	5,296	2,354	1,088	1,041	0,635
піридин	198,227	4,917	1,017	0,725	0,289	0,098
хлорбензол	110,842	2,259	1,973	0,426	0,169	0,077
толуол	7,263	0,409	0,371	0,206	0,207	0,081

Отримані результати (рис. 2, 3) свідчать про зменшення для запропонованої моделі розбіжності між розрахунковими й експериментальними значеннями до 40% у порівнянні з існуючими. Результати експериментальної перевірки побудованої математичної моделі наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 2

Значення констант Керра органічних речовин, розчинених у розчинниках

Речовина	Розчинник	$m_K^{(r)} \cdot 10^8$ (ед. СГСЕ)	$\Delta(mK_2^{(ж)})_{Л}$	$\Delta(mK_2^{(ж)})_{Он}$	$\Delta(mK_2^{(ж)})_{В-В}$	$\Delta(mK_2^{(ж)})_{В-З}$	$\Delta(mK_2^{(ж)})_{Н}$
р-ксилол	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	31,109	0,559	0,429	0,194	0,098	0,070
бензол		17,166	0,534	0,392	0,167	0,061	0,042
н-октан		9,640	0,531	0,387	0,155	0,055	0,042
нітробензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1332,001	1,909	0,999	0,672	0,264	0,203
хлорбензол		191,017	1,772	0,613	0,468	0,167	0,144
ацетон		47,100	1,593	0,467	0,372	0,125	0,096
толуол	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	33,004	1,434	0,479	0,223	0,077	0,072
нітрометан	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	89,011	2,166	1,191	0,239	0,117	0,076
ацетон	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> SO	102,076	2,249	1,264	0,147	0,098	0,054
піридин		142,606	2,091	1,174	0,188	0,102	0,060
формаїд	CCl <sub>4</sub>	290,107	2,203	1,286	0,103	0,086	0,044
ацетаїд		260,989	2,185	1,237	0,104	0,086	0,061

Як видно з табл. 2, запропонована модель ЕППЗ в молекулярних середовищах зменшує розбіжність теоретичних та експериментальних значень в порівнянні з існуючими континуальними моделями, як:  $\Delta V_{Он} > \Delta V_{В-В} > \Delta V_{В-З} > \Delta V_{Н}$ . Отримані експериментальні результати свідчать про мінімальне розходження у визначенні величин електричної подвійної променезаломлюваності розчинених у розчиннику речовин, розрахованих по запропонованій моделі (7):  $\Delta(mK_2^{(ж)})_{Онс} > \Delta(mK_2^{(ж)})_{В-В} > \Delta(mK_2^{(ж)})_{В-З} > \Delta(mK_2^{(ж)})_{Н}$ , що дозволить підвищити точність (до 25 %) ідентифікації компонентів ще на етапі їх появи в суміші.

У четвертому розділі наведено принципову схему пристрою раннього виявлення горючих компонентів у газоповітряних багатокомпонентних виробничих середовищах (структурна схема наведена на рис. 1), а також представлені результати експериментальної перевірки можливості методу ЕППЗ щодо ідентифікації та концентраційного контролю горючих багатокомпонентних газових середовищ. Так в табл. 3 наведені результати ідентифікації CH<sub>4</sub> у газовій суміші – C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>+C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>+C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> від величини поляризуючої напруги на вимірювальних чарунках.

Залежність мінімальної концентрації  $\text{CH}_4$  у газовій суміші, при якій  
можлива її ідентифікація, від величини поляризуючої напруги

U, кВ	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
$C_{\text{min}}$ іден, об%	0,5	0,6	1,1	1,9	2,4	3,5	4,7	5,7

Результати концентраційного контролю методом ЕППЗ промислового газу в газовій суміші представлені у вигляді графічної залежності (рис. 4).

Мінімальні концентрації упевненої реєстрації наявності речовини в суміші знаходяться нижче нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я (НКПП) метану (остання складає приблизно 4 об. %). У роботі представлені алгоритм практичної реалізації методу ЕППЗ для виявлення горючих компонентів у повітрі промислового середовища, а також алгоритм контролю пропонуваним пристроєм горючих компонентів у повітрі виробничого середовища.

## ВИСНОВКИ

1.Визначена актуальність задачі щодо розробки високоточного способу виявлення в автоматичному режимі та реальному масштабі часу горючих компонентів в газовому виробничому середовищі ще на етапі їх появи та встановлення динаміки зміни їх концентрації.

2.Обґрунтована можливість використання методу електричної подвійної променезаломлюваності для контролю горючих компонентів у газових середовищах на різного роду промислових об'єктах.

3.Для підвищення точності ідентифікації компонентів у промислових газових середовищах розроблена модель, що базується на використанні механізму явища Керра в багатокомпонентних газових сумішах.

4.Отримані аналітичні рівняння, що дозволяють визначати якісно-кількісний склад молекулярних середовищ за: дипольними моментами молекул; значенням ЕППЗ та молярної константи Керра; молярною константою Керра компоненти, що досліджується, при її розчинені в багатокомпонентній газовій суміші.

5.За допомогою стандартної апаратури фізико-хімічного аналізу проведена оцінка адекватності отриманих аналітичних виразів для визначення якісно-кількісного складу молекулярних середовищ за дипольними моментами досліджуваних молекул. Отримані результати свідчать про зменшення для запропонованої моделі розбіжності між розрахунковими й експериментальними значеннями.

6.Теоретично обґрунтовано і розроблено зразок електрооптичного пристрою для дослідження молекулярних середовищ. Результати перевірки запропонованої моделі явища Керра свідчать про зменшення розбіжності між розрахунковими й експериментальними значеннями на 25%.

7. За результатами проведеного експериментального дослідження можливостей методу ЕППЗ встановлено, що мінімальні концентрації упевненої реєстрації наявності речовини в суміші знаходяться значно нижче НКПРП, що дозволить вчасно здійснити протипожежні заходи на об'єкті.

8. Доведена можливість використання методу ЕППЗ для раннього виявлення горючих компонентів у газових промислових середовищах та встановлена пріоритетність його використання при рішенні задач попередження пожеж і вибухів на промислових об'єктах.

9. Розроблено алгоритм використання запропонованого у роботі пристрою для раннього виявлення горючих компонентів у багатокомпонентних газових середовищах.

#### **Список опублікованих праць за темою дисертації:**

1. Тютюник В.В. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания. Анализ газов и проблемы пожарной безопасности // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Харьков: ХИПБ МВС Украины, 1999. – Вып.5. – С. 196 –203.

Проведений здобувачем аналіз існуючих засобів контролю газових і газоповітряних середовищ показав доцільність поширення методів поляризаційної молекулярної оптики для рішення задач пожежної безпеки.

2. Тютюник В.В., Говаленков С.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания 2.1. Обобщенное внутреннее поле квазистатических поляризующих полей // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр.– Харьков: ХИПБ МВС Украины, 2000. – Вып.7.– С. 209 – 216.

Здобувачем на основі аналізу полів, що діють на молекулу поляризованого конденсату, і індукованих моментів, у рамках моделі Онсагера, отримані вирази для розрахункової величини газофазного дипольного моменту молекули.

3. Тютюник В.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания 2.2. Модификация модели внутреннего поля Онсагера // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр.– Вып.8.– Харьков: АПБУ МВС Украины, 2000.– С. 150 –157.

Здобувачем розроблена фізична модель локальної електричної індукції молекулярних середовищ, отримано аналітичний вираз для розрахунку значень газофазних дипольних моментів.

4. Тютюник В.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А. Дипольная поляризация бинарных растворов органических соединений. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 2000. – Серия: Новые решения в современных технологиях. – Вып. 119. – С. 48 – 51.

Здобувачем отримані аналітичні вирази для розрахунку значень газофазних дипольних моментів молекул рідинофазних органічних діелектриків у випадку їх нескінченного розведення в розчиннику.

5.Тютюник В.В., Светличная С.Д., Тарасова Г.В., Тюрин С.А. Явление Керра в жидкофазных диэлектриках. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 2000. – Вып. 128. – С. 134 – 142.

Здобувачем отримані вирази для розрахунку констант Керра рідинофазних чистих органічних сполук.

6.Тютюник В.В., Говаленков С.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А., Иванов Н.И. Установка Керра – первичный оптоэлектронный преобразователь // Системы обработки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ., 2001. – Вип. 2 (12). – С. 172 – 181.

Здобувачем запропонована принципова схема електрооптичного пристрою для якісно-кількісного контролю середовища.

7.Тютюник В.В., Светличная С.Д., Тарасова Г.В., Тюрин С.А. Явление Керра в бинарных жидкофазных органических соединениях // Системы обработки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ., 2001. – Вип. 3 (13). – С.110 – 118.

Здобувачем отримані вирази для розрахунку констант Керра рідинофазних органічних діелектриків у випадку їх нескінченного розведення в розчиннику.

8.Тютюник В.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А., Иванов Н.И. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания. Эффект Керра в многокомпонентных газовых горючих средах // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Харьков: АПБУ МВС Украины, 2001. – Вып.10.– С. 199 – 204.

Здобувачем отримані вирази для розрахунку констант Керра горючих складових у багатокомпонентних промислових газових середовищах.

9.Тютюник В.В., Тарасова Г.В., Тюрин С.А., Иванов Н.И. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания. Эффект Керра и решение профилактических задач пожаровзрывоопасных объектов // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. – Харьков: АПБУ МВС Украины, 2001. – Вып.9.– С. 231 – 238.

Здобувачем обгрунтовані доцільність використання явища Керра для рішення профілактичних задач пожежовибухонебезпечності промислових об'єктів.

## АНОТАЦІЇ

Тютюник В.В. Пристрій та поляризаційно-оптичний метод ідентифікації горючих складових у багатокомпонентних газових середовищах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2003.

Дисертація присвячена теоретичному та експериментальному обґрунтуванню використання методу електричної подвійної променезаломлюваності та створенню пристрою, в основі роботи якого лежить метод, заснований на явищі Керра, як з метою підвищення рівня інформативності молекулярного аналізу газових багатокомпонентних середовищ на етапі появи горючих компонентів, так і безпосередньо для своєчасного попередження виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з пожежами та вибухами на промислових об'єктах. За допомогою апарату математичного моделювання, експериментальних досліджень, обробки результатів експерименту – розроблено структурну схему пристрою для раннього виявлення горючих складових в багатокомпонентних газових середовищах; для підвищення точності ідентифікації компонентів у виробничих газових середовищах розроблена модель, що базується на використанні механізму явища Керра в багатокомпонентних газових сумішах; отримані аналітичні рівняння, що дозволяють визначати якісно-кількісний склад молекулярних середовищ за: дипольними моментами молекул; значенням величини електричної подвійної променезаломлюваності та молярної константи Керра, як фундаментальній молекулярній характеристиці речовини, молярною константою Керра компоненти, що досліджується, при її розчиненні в багатокомпонентній газовій суміші. Розроблено алгоритм використання пристрою для раннього виявлення горючих компонентів у багатокомпонентних газових середовищах, а також прогнозування часу утворення горючих складових газового середовища на промислових об'єктах.

Ключові слова: визначення складу газового середовища, якісно-кількісний контроль горючих компонентів, контроль технічного стану об'єктів, контроль передаварійних ситуацій.

Тютюник В.В. Устройство и поляризационно-оптический метод идентификации горючих составляющих в многокомпонентных газовых средах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт ”, Харьков, 2003

Диссертация посвящена обоснованию возможности использования метода электрического двойного лучепреломления и созданию устройства, в основу которого положено явление Керра, как для повышения уровня информативности молекулярного анализа многокомпонентных газовых сред на этапе появления горючих компонентов, так и для своевременного предупреждения пожаров и взрывов.

Анализ причин пожаров на промышленных объектах, в том числе на предприятиях топливно-энергетического комплекса, показал, что возникновение очагов возгорания связано, в основном, с нарушением технологических процессов. Причем, если вовремя не обнаружить появление горючих компонентов в производственной среде и не установить динамику изменения их concentra-

ций возможно образование взрывоопасных концентраций, что может привести к взрывам и пожарам, ущерб от которых может быть значительным как с экономической так социальной точек зрения.

Анализ основных технических характеристик существующих приборов исследования многокомпонентных газоздушных сред свидетельствует о существенной их ограниченности по таким основным параметрам, как чувствительность, избирательность, быстродействие при измерении в автоматическом режиме в реальном масштабе времени без проведения операции подготовки пробы. Инструментально реализованные методы, как правило, предусматривают операции отбора и подготовки пробы, значительный объем расходных материалов. При этом время получения информации о пожарном состоянии охраняемого объекта увеличивается, а время для принятия профилактических мер сокращается. Кроме того, им присуща высокая погрешность измерения и низкая разрешающая способность.

В результате анализа методов и средств контроля многокомпонентных газовых смесей установлена перспективность методов молекулярной оптики для раннего обнаружения горючих компонент в многокомпонентных газовых средах по сравнению с высокоточными лабораторными методами физико-химического анализа.

Для повышения точности идентификации горючих компонент в производственных газовых средах разработана модель явления Керра в многокомпонентных газовых смесях. При этом, характер поляризационных свойств, характерной для многокомпонентных сред, учитывается введением новой модели внутреннего поля.

Получены аналитические выражения, позволяющие определять качественно-количественный состав молекулярных сред по: дипольным моментам свободных молекул; величине электрического двойного лучепреломления и молярной константе Керра, как фундаментальной молекулярной характеристике вещества; молярной константе Керра исследуемой горючей компоненты при ее разбавлении в многокомпонентной газовой смеси.

На стандартной аппаратуре физико-химического анализа проведена оценка адекватности полученных аналитических выражений для определения качественно-количественного состава молекулярных сред.

Теоретически обоснован и разработан макет электрооптического устройства для исследования молекулярных сред. В результате проведенных экспериментальных исследований возможностей метода электрического двойного лучепреломления установлено, что минимальные концентрации уверенной регистрации наличия вещества в смеси находятся значительно ниже нижнего концентрационного предела распространения пламени, что позволит своевременно осуществить противопожарные мероприятия на объекте.



Разработан алгоритм использования предлагаемого метода для раннего обнаружения горючих компонент в многокомпонентных газовых средах, а также прогнозирования времени образования горючих газовых сред на промышленных объектах.

Ключевые слова: определение состава газовой среды, качественно-количественный контроль горючих компонент, контроль технического состояния объектов, контроль предаварийных ситуаций.

Tiutiunik V.V. A Device and a Polarization Optical Technique of Identification Flammable Components in Multi-Component Gas Environments.

A dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.11.13 – devices and techniques for determining the composition of substances. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2003.

The dissertation gives theoretical and experimental foundations to employing the technique of electric double refraction and creating a device based upon Kerr's effect technique both to increase the level of information capacity for the molecular analysis of gas multi-component environments at the stage of flammable components appearance and to prevent emergencies concerned with fires and blasts at industrial objects early. Based on mathematic modeling techniques and experimental data processing theory a block diagram for the early detection device for flammable components in multi-component gas environments was developed, to increase quality of identification flammable components in multi-component gas environments the model based on using mechanism of Kerr's effect technique, analytic dependencies, enabling the quality and quantity identification of molecular environments according to dipole molecular moments, value of electric double refraction and molecular Kerr's constant component, as basic molecular characteristic of substance when dissolving in a multi-component gas environment, were obtained. An algorithm for employing the device for early detection of flammable components in multi component gas environments and prediction of the flammable gas environment formation time at industrial objects were obtained.

Key words: detection the composition of gas environment, substances qualitative-quantitative control of flammable components , fore-emergency control, technical state of objects control.