

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №3

**ЗАСТОСУВАННЯ КОРОННОГО ТА БАР'ЄРНОГО
РОЗРЯДУ В АПАРАТАХ ДЛЯ СИНТЕЗУ ОЗОНУ**

**3 КУРСУ
«ПЛАЗМОВА ТА ІМПУЛЬСНА ЕЛЕКТРОНІКА»
Для студентів спеціальності «Електронні прилади та пристрої»**

Київ 2012

Мета роботи: За науково-технічною літературою вивчити властивості озону, механізми та методи його синтезу. Ознайомитись зі структурою, електричними схемами, принципом роботи та характеристиками апаратів для синтезу озону з розрядними камерами (озонаторами) на коронному та бар'єрному розрядах. Ознайомитись з методами та приладами для вимірювання концентрації озону.

Короткі відомості про озон, механізм та методи його синтезу

Озон (O_3) є порівняно простою сполукою, одною з алотропічних видозмін кисню (O_2). Але незважаючи на те, що озон, як і кисень, складається з одних і тих же атомів (O), він значно відрізняється за своїми властивостями від O_2 .

Одною з основних властивостей озону, яка спонукала до його інтенсивного та широкого впровадження в техніці, біології, екології, медицині, є висока хімічна активність озону, а також його бактерицидна та фунгіцидна дія. Висока розчинність озону в воді також дала поштовх для його використання при обробці питної води та знезараження промислових стоків.

Озон у великих концентраціях є досить токсичною речовиною. В зв'язку з цим встановлена санітарна гранично допустима його концентрація в зоні обслуговування озонних апаратів та пристроїв, яка не повинна перевищувати $0,2 \text{ мг/м}^3$.

При взаємодії з речовинами озон, як метастабільна сполука, легко віддає один атом кисню і через те є дуже сильним окислювачем. Озон переводить в окисли майже всі метали (окрім Au і Pt) та металоїди, а також оксидує більшість неорганічних та органічних сполук.

Реакція переходу кисню в озон доволіно проходити не може. Для її проходження необхідні затрати енергії. Зворотній же перехід (розпад озону) проходить вільно. Для взаємного переходу кисень \leftrightarrow озон характерна неповна оборотність, в результаті чого у кисні (або в повітрі) присутня деяка врівноважена кількість озону. Крім того, розпад озону проходить швидше при більш високих температурах.

Взагалі, рівновага синтезу озону та його розпаду при різних температурах може бути представлена наступною реакцією:



Таким чином для утворення озону необхідна відповідна кількість атомарного кисню в атмосфері молекулярного кисню.

Проте в нормальному стані при низьких температурах газ в основному складається з молекулярного кисню, а при високих - з атомарного, і немає такої області температур при одній атмосфері, де рівноважний парціальний тиск озону був би значним. Так, максимальний парціальний тиск озону, який маємо при температурі 3500°K , складає всього $9 \cdot 10^{-7} \text{ атм}$.

Через це, для одержання значних концентрацій озону необхідне одночасне створення двох умов:

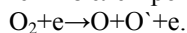
- порівняно низька температура, яка забезпечує перевагу в утворенні озону порівняно з його розпадом,
- присутність великих концентрацій атомарного кисню.

Виконання цих умов можливе при низьких температурах в результаті різних сторонніх нетермічних впливів на газ (опромінення, електронних процесів, деяких хімічних реакцій, тощо), які обумовлюють виділення атомарного кисню.

В зв'язку з цим на даний час відомі наступні основні способи утворення озону з кисню [1]:

- термічний,
- під дією хімічних реакцій,
- фотохімічний,
- електрохімічний,
- під дією потоку часток,
- в електричних розрядах.

Незважаючи на таку широку гаму способів синтезу озону, з погляду багатьох дослідників найбільшої уваги заслуговують способи синтезу в електричних розрядах (тихому, тліючому, коронному, дуговому та іскровому), які дозволяють одержати найбільш високий енергетичний вихід озону ($\text{г/кВт} \cdot \text{ГОД}$). Багатьма дослідниками встановлено, що основним процесом при синтезі озону в газовому розряді, що приводить до утворення активних часток, є дисоціація молекул кисню на атоми при зіткненні з електронами:



Для практичних цілей синтезу озону найбільш перспективним є тихий розряд, який об'єднує в собі ряд різновидів (з вістря, бар'єрний, ковзний та інші).

В даний час в потужних установках синтезу озону (озонаторах) використовується в основному бар'єрний розряд, який збуджується під дією високої змінної напруги між двома циліндричними або плоскими електродами, при тисках газу близьких до атмосферного. Один з таких електродів зі сторони розрядного проміжку покритий шаром діелектрика товщиною $\leq 1\text{мм}$ (скло, склоемаль та інші). В зв'язку з цим для реалізації розробки генератора озону порівняно невеликої концентрації (до десятків грам на куб. метр) для впровадження в медицині, а також в техніці, біології та екології, об'єктом дослідження стали системи з бар'єрним розрядом та розрядом з вістря. Деякі теоретичні, а також експериментальні аспекти фізики бар'єрного розряду досить непогано розглянуті в книзі [2]. В зв'язку з цим нижче буде розглянуто питання синтезу озону за допомогою бар'єрного розряду.

Синтез озону з кисню в бар'єрному розряді

Електросинтезу озону в бар'єрному розряді притаманні дві основні особливості: це, по-перше, залежність виходу продукту від електричних параметрів, і, по-друге, відтворення, як правило, таких процесів в потоці газу. Досить складна багатофакторна природа електричних процесів в бар'єрному розряді обумовлює такий же характер залежності кінетики синтезу від умов експерименту. Вірогідно, що найбільш загальним електричним параметром, який обумовлює інтенсивність електрохімічних процесів, повинен бути заряд, перенесений через розрядний проміжок за одиницю часу, або середній струм.

Якщо припустити, що в бар'єрному розряді напруга горіння є величина приблизно постійна, то можна вважати, що активна потужність буде пропорційна середній величині середнього активного струму. Таким чином, вихід продукту (озону) буде обумовлений в основному величиною енергетичного вкладу в одиницю об'єму газу, і знаходиться в прямій залежності від середнього струму розряду при інших рівних умовах. З урахуванням того факту, що реакція проходить в потоці, питомий енергетичний вклад може бути записаний як відношення активної потужності до об'ємної швидкості газу. Дійсно, кінетичні криві електросинтезу озону, одержані незалежно рядом дослідників при різних значеннях потужності (P) та об'ємній швидкості газу (V) при інших рівних умовах, описуються одною кривою (рис. 1) при використанні фактора $\left(\frac{P}{V}\right)$, введеного групою авторів (С.С. Васильєвим, Н.І. Кобзєвим та Е.Н. Єрьомінін) ще в 1936 році [1-3].

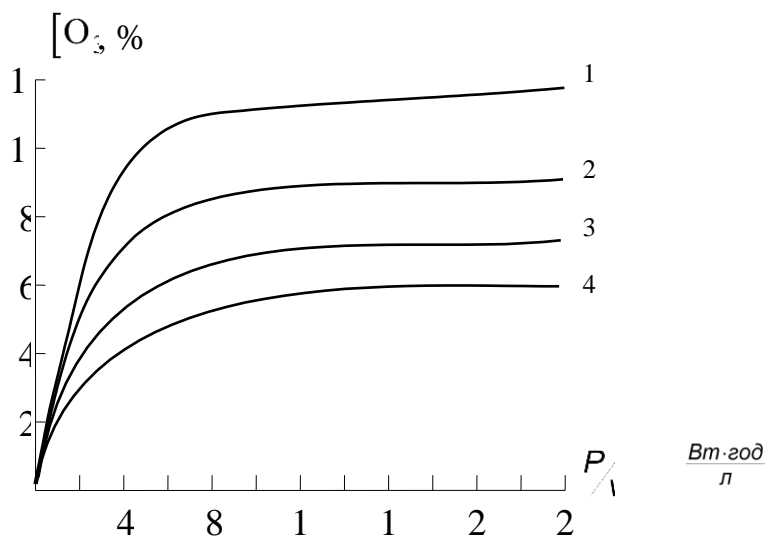


Рис. 1. Кінетичні криві синтезу озону в озонаторах з різними розрядними проміжками при постійній потужності [3]. Розрядні проміжки d (мм):
1 – 1; 2 – 2,1; 3 – 2,9; 4 – 4,2.

Криві такого виду можуть бути описані кінетичним рівнянням оборотної реакції з нульовим або першим порядком з утворення озону та першим порядком з його розкладу [3]. В першому випадку рівняння має вигляд:

$$\frac{dC}{dt} = K_0 - K_1 \cdot C + D_0 \frac{d^2C}{dy^2}, \quad (1)$$

де C - концентрація озону,

D_0 - коефіцієнт поздовжньої дифузії,

y - координата вздовж потоку,

K_0 та K_1 - відповідно константи синтезу та розпаду озону.

Враховуючи, що ці величини пропорційні питомій потужності розряду, можливо одержати два асимптотичних рішення рівняння (1):

$$C = C_{ст} \left(1 - e^{-K_1 \frac{P}{v}} \right), \quad (2)$$

$$\text{де } C_{ст} = \frac{K_0}{K_1}, \text{ та } C = \frac{K_0 \cdot (P/v)}{1 + (K_1/v)}. \quad (3)$$

Перше з них відповідає випадку відсутності поздовжньої дифузії в реакторі, а друге - нескінченно великій швидкості поздовжньої дифузії.

Константи, які входять в рівняння (2) та (3) не залежать від фактора питомої потужності. Необхідно замітити, що вказані співвідношення вірні лише при умові, що K_0 та K_1 постійні по довжині реакційної зони.

Проте рівняння (3) більш зручне для кінетичних розрахунків на практиці. Експериментально встановлено, якщо фактор P/v змінюється тільки за рахунок варіації швидкості потоку газу при постійній потужності, то кінетичні криві асимптотично наближаються до граничного значення. Але коли змінюється потужність, то на кривих виявляється максимум (рис. 2) [3]. Таке поведіння кривих може бути пояснене підвищенням температури газу в зоні розряду. Вираз (3) може бути використано для кінетичних кривих (рис. 1) і в цьому випадку, якщо врахована залежність кінетичних констант (K_0 та K_1) від температури газу.

Таким чином, необхідно пам'ятати, що зміна фактора P/v може проходити одночасно зі зміною інших умов. Константи K_0 та K_1 , які не залежать від фактора P/v , можуть залежати від таких параметрів, як тиск та температура газу, величина розрядного проміжку, частота напруги живлення, склад газового середовища.

На даний час є підстави рахувати, що підвищення частоти живлення бар'єрного розряду до $7 \div 10$ кГц призводить до значного підвищення виходу озону на одиницю площі електродів [3]. Так в промисловому озонаторі для очистки води при частоті живлення 50 Гц вихід складає $\approx 0,5$ г/год'дм² то при частоті 600 Гц він досягає вже 3 г/год'дм², а в експериментальному реакторі при ідеальних умовах і ефективному охолодженні електродів на частоті 5 кГц він може досягати 50 г/год'дм². Можна сказати, що в даному випадку вплив частоти виражається через активну потужність. При вищих частотах (сотні кілогерц) вихід озону дещо зменшується і при частотах >1 МГц простежується різке його зменшення. Це явище трактується рядом дослідників досить складною взаємодією електронів та іонів в розрядній зоні і на поверхні електродів, що приводить до термалізації плазми і падінню ефективності синтезу озону.

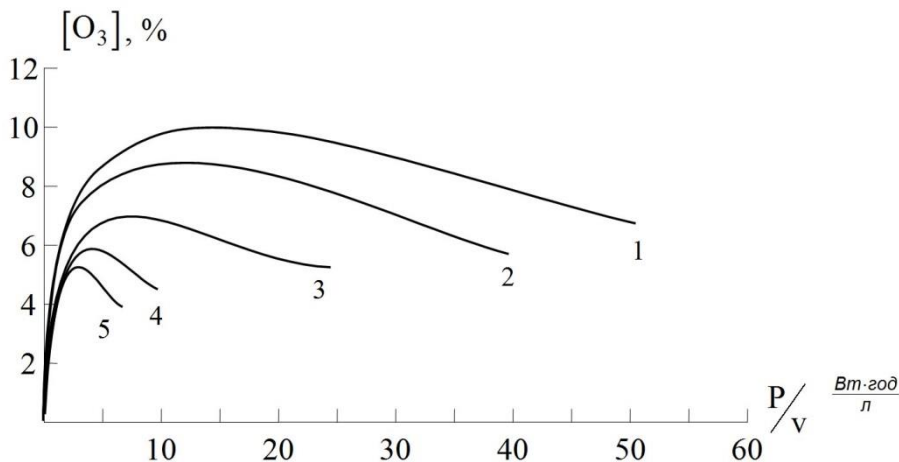


Рис.2. Залежність концентрації озону від величини фактора питомої потужності P/v при різних швидкостях потоку кисню у бар'єрному розряді (л/год) [3]: 1 - 3; 2 - 6; 3 - 10; 4 - 20; 5 - 30.

Тиск газу та величина розрядного проміжку являються також відчутними параметрами, варіацією яких можливо впливати на ефективність виходу озону, перш за все через зміну констант синтезу та розпаду озону в рівнянні (3).

Зміна величини розрядного проміжку d призводить до появи складної залежності кінетичних констант від d . Так, при малих d наявний ріст K_0 з максимумом при $d \approx 1$ мм, а потім настає повільний спад.

Встановлено, що тиск в межах $0,3 \div 1$ атм практично не впливає на енергетичний вихід озону, і при підвищенні його до 5 атм зменшує цей вихід більш чим в 2 рази.

Таким чином, для практичних цілей можуть бути рекомендовані наступні величини параметрів:

- тиск $1 \div 2$ атм,
- розрядний проміжок $1 \div 3$ мм.

Ще в ранніх дослідах було встановлено, що вологість негативно впливає на утворення озону. Проте дані про вплив вологи на кінетику його електросинтезу відтворюються досить погано. Відомо, що малі добавки ($0,001$ г H_2O на 1 г кисню) практично не впливають на концентрацію O_3 , і лише при великих парціальних тисках парів води (одиниці мм.рт.ст. і більше) концентрація різко падає. При цьому доведено, що підвищення вологості змінює характер розряду і зменшує поверхневий опір діелектрика, що в кінцевому результаті приводить, при інших рівних умовах, до зниження виходу O_3 .

На даний час розроблені потужні стаціонарні промислові озонатори на бар'єрному розряді (десятки-сотні кіловат), які з успіхом використовуються для підготовки питної води [1]. Такі озонатори мають в основному трубну конструкцію, яка являє собою коаксіальну систему електродів з діелектричним бар'єром із склоемалі, котра наноситься на робочу поверхню одного з електродів. Для підвищення продуктивності з виходу озону (до декількох кілограмів на годину) часто в озонаторних установках використовують багатотрубні озонатори, або практикують паралельну роботу декількох озонаторів. В зв'язку з великою потужністю і виділенням великої кількості тепла на електродах таких озонаторів, вони потребують інтенсивного водяного охолодження.

Для переносних апаратів для генерації озону з порівняно невеликою концентрацією (до десятків грамів на куб. метр) і продуктивністю (одиниці грамів на годину) для використання в багатьох областях медицини, біології, техніки та ін. розроблені малогабаритні озонатори, як трубної (коаксіально-циліндричної), так і планарної конструкції, де в якості діелектричних бар'єрів використовується скло та склоемалі, а також другі діелектрики, наприклад покриття із SiO_2 . Схематичні конструкції двох із них показані на рис. 3 та 4.

Склад та принцип роботи апаратів для синтезу озону

Озонотерапевтичний апарат з озонатором на бар'єрному розряді.

Апарат виконаний у вигляді переносного настільного блоку в металічному корпусі, який з допомогою гнучких полімерних шлангів з'єднується з системою газового живлення (компресором або кисневою мережею чи балоном) та об'єктом використання озону.

На передній панелі апарата розташовані: тумблер вмикання та вимикання живлення, світловий індикатор, регулятор струму розряду, індикатор струму, ротаметр (регулятор та вимірювач потоку газу), штуцер для підводу кисню або повітря, штуцер виводу озono-кисневої або озono-повітряної суміші.

Електрична схема апарата (рис. 5) являє собою транзисторний генератор пакетів імпульсів, на виході якого підключений високовольтний трансформатор. З трансформатора високовольтні імпульси подаються на електроди розрядної камери (озонатора). Амплітуда високовольтних імпульсів (≈ 15 кВ) є незмінною. Струм розряду може регулюватись зміною частоти імпульсів в схемі формування імпульсів або тривалістю пакетів цих імпульсів – в схемі формування пакетів, відповідними змінними резисторами (на передню панель виведена ручка регулятора тривалості пакетів).

Розрядна камера (озонатор на бар'єрному розряді) в даному апараті має коаксіально-циліндричну конструкцію, основою якої є скляна трубка з товщиною стінки 1 мм (діелектричний бар'єр). На зовнішню поверхню трубки нанесено металічне покриття, яке є одним із електродів озонатора. Другий (внутрішній) циліндричний електрод розміщений коаксіально по вісі трубки. З торців трубки розміщені ізолятори зі штуцерами для вводу та виводу газу. Один із штуцерів, який виготовлений із металу, є одночасно високовольтним виводом внутрішнього електроду.

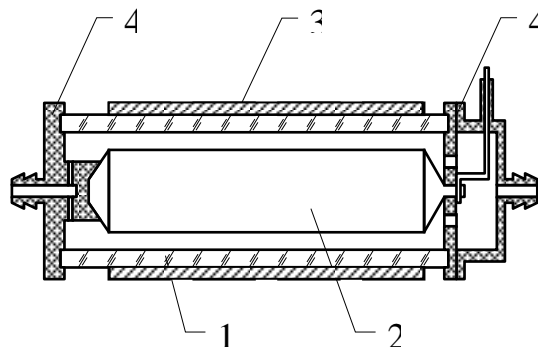


Рис.3. Коаксіально-циліндрична (трубна) конструкція озонатора з бар'єрним розрядом:

1. скляна трубка (діелектричний бар'єр)
2. внутрішній електрод;
3. зовнішній електрод;

4. ізолятори.

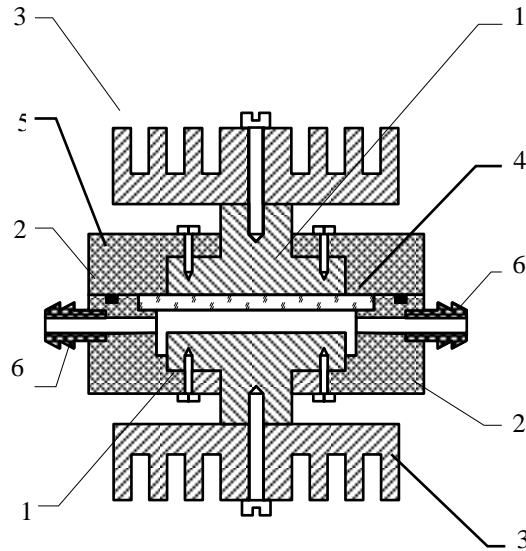


Рис.4. Схематична конструкція малогабаритного планарного озонатора з бар'єрним розрядом: 1 – плоскі електроди, 2 – корпус-ізолятор, 3 - радіатор, 4 – скляна пластина, 5 – ізолятор, 6 – штуцер.)

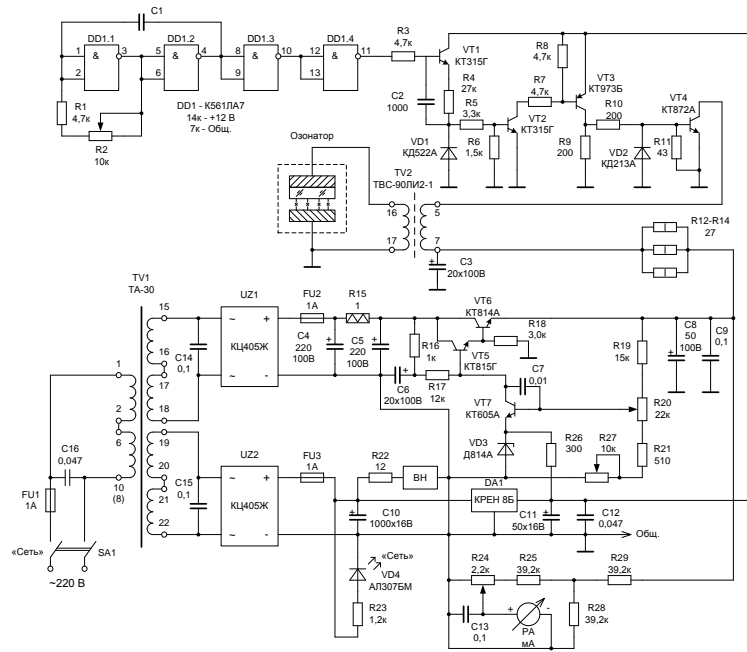


Рис.5. Принципова електрична схема озонотерапевтичного апарату з озонатором бар'єрного розряду.

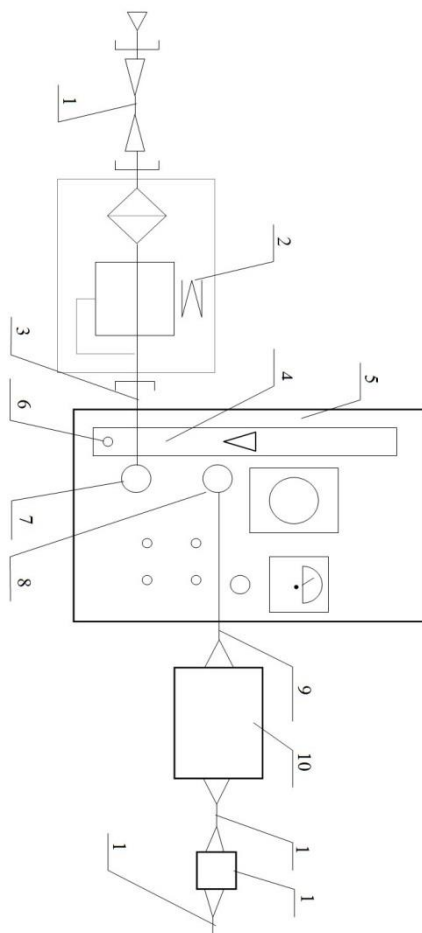


Рис.6. Схема активатора кисню для озонотерапії:

- 1,3,9,11,13 – шланги газові;
- 2 – редуктор РДФ-3-1;
- 4 – ротаметр;
- 5 – електронний приладовий блок апарату;
- 6 – регулятор витрат (протоку) кисню;
- 7 – вхідний штуцер апарату;
- 8 – вихідний штуцер апарату;
- 10 – лікувальна камера-ізолятор;
- 12 – руйнівник озону.

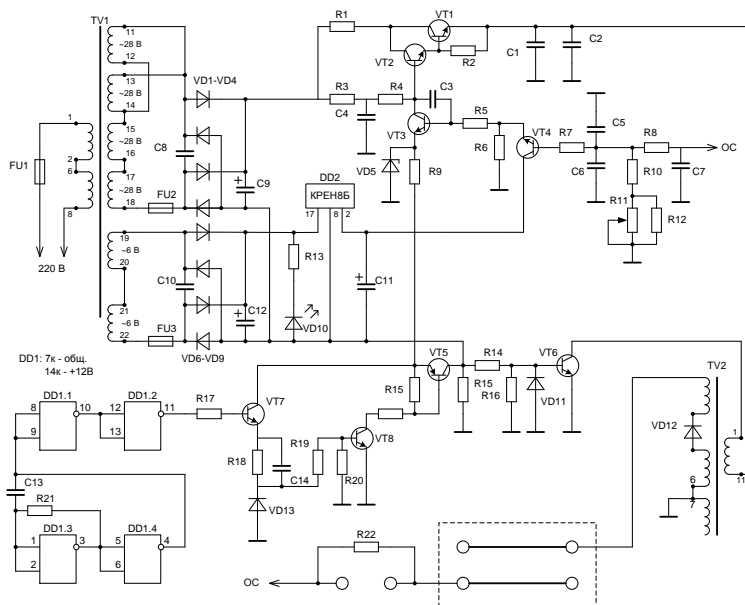


Рис.7. Принципова електрична схема озонного апарату для знезараження повітря.

Описаний апарат призначений в основному для використання в медичній практиці (газації уражених ділянок тіла пацієнта, озонних введень в порожнини та ін'єкцій, обробки води, масел та рідких ліків). Крім того подібні апарати можуть бути використані в інших областях (біології, технологічній обробці поверхонь деталей виробів та ін.), де необхідні порівняно невисокі концентрації озону (одиниці-десятки г/м³)

На рис. 6 наведено структурну схему для озонотерапії з використанням даного апарату, робота якої полягає в наступному. На вхідний штуцер 7 апарату 5 з системи газового живлення через редуктор – регулятор тиску (РДФ-3-1) 2 надходить кисень. Регулятором редуктора встановлюється надлишковий тиск на його виході (0,5–1 атм.). Ручкою регулятора потоку газу 6 на шкалі ротаметра 4 встановлюється необхідна для конкретної процедури швидкість потоку кисню (л/хв.), яка визначається за допомогою градуовальної кривої (рис. 8) та ручкою регулятора струму (на рис. не показана) відповідний струм розряду.

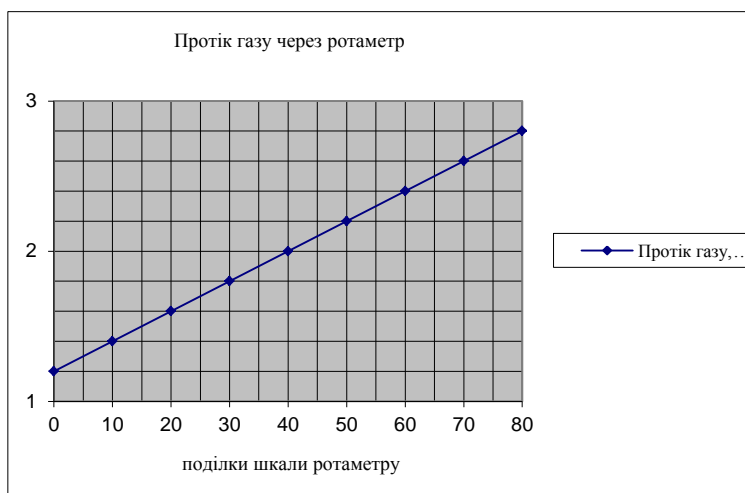


Рис.8. Градувальна характеристика ротаметру.

Оскільки концентрація озону на виході залежить від швидкості потоку кисню та струму розряду, то значення цих параметрів в кожному окремому випадку встановлюється за відповідними градуовальними таблицями чи графіками. (При градуванні для вимірювання концентрацій озону використовується вимірювач типу “Циклон –5.41”). З озонуючої камери апарату 5 через вхідний штуцер 8 озono-киснева суміш по шлангу 9 подається до блоку газових комутаторів, а далі у лікувальну камеру-ізолятор 10, що герметично закріплюється на тілі пацієнта. Усередині порожнини камери розміщується та частина тіла пацієнта, котру необхідно обробити озono-кисневою сумішшю. Камера 10, яка виготовлена з тонкої полімерної плівки, за декілька хвилин роздувається до рівноважного об'єму. Надлишковий газ з лікувальної камери-ізолятора 10 відводиться самопливом по шлангу 11. Роздування камери-ізолятора 10 відбувається під дією тиску газового потоку з шланга 9 і внаслідок наявності газового опору в шлангу 11. Надмірний тиск газу у лікувальній камері-ізоляторі у рівноважному стані не набагато вищий атмосферного, тому не відбувається витоку озону з камери.

По шлангу 11 відпрацьований газ подається у руйнівник озону 12. Потім дезактивований газ по шлангу 13 виводиться за межі лікувального приміщення. Руйнівник озону 12 являє собою патрон з штуцерами для приєднання шлангів. Усередині його знаходиться гранульоване активоване вугілля, на частках якого адсорбується озон, перетворюючись у звичайний кисень.

Шланги герметично приєднуються до частин апарата за допомогою штуцерів з ребристою поверхнею, які забезпечують герметичність місць приєднання.

Озонний апарат для знезараження атмосфери приміщень з озонатором на коронному розряді.

Апарат виконаний в пластмасовому корпусі з вхідним і вихідним загратованими вікнами.

Електрична схема апарата змонтована на діелектричній основі і розділена перегородкою на дві секції. В першій секції розміщено високовольтний блок живлення, а в другій сама електродна система резонатора. В середній частині перегородки вмонтований вентилятор, який прокачує повітря, що поступає до вхідного вікна в корпусі апарата через фільтр та зону розряду, до вихідного загратованого вікна. З вихідного вікна надходить назовні активна озono-повітряна суміш, що має знезаражувальні властивості.

Електродна система являє собою систему з двох молібденових проволоку 0,1 мм, натягнутих на ізоляторах паралельно, на відстані 25-30 мм одна від одної.

На електроди подається висока постійна напруга 20-25 кВ, при якій виникає і підтримується коронний розряд. В зоні коронного розряду проходить процес синтезу озону.

Електрична схема блоку живлення (рис. 7) складається з двох основних вузлів: транзисторного генератора імпульсної напруги, на виході якого підключений блок високовольтного імпульсного трансформатора з випрямлячем (ТДКС-19), з якого знімається висока напруга і подається на електродну систему. Регулювання величини струму розряду і, відповідно, концентрація озону на виході забезпечується змінним опором (470 кОм), який змінює частоту імпульсів генератора.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з відомостями про озон та його властивості, а також дію озону на біологічні об'єкти. Вивчити механізми синтезу озону в газових розрядах та ознайомитись з інструкцією експлуатації вимірювача концентрації озону "Циклон – 5.41".

2. При зняттю корпусу озонотерапевтичного апарату ознайомитись зі складом та його принциповою схемою, а також схемою газового живлення апарата. Ознайомитись з будовою розрядної камери (озонатора).

3. Встановити шасі апарата в кожух і закріпити гвинтами. Заземлити апарат. Перевірити відсутність зовнішніх ушкоджень апарата та шнура живлення.

4. За допомогою полімерних шлангів з'єднати апарат із схемою газового живлення та вимірювачем концентрації озону "Циклон – 5.41". Перевірити відсутність ушкоджень та перегинів шлангів. Ознайомитись з інструкцією експлуатації вимірювача концентрації озону.

5. Повернути ручку регулятора потоку ротаметра на передній панелі на 1-2 оберти ліво.

6. Відкрити вентиль кисневого балону і встановити на виході регулятора балону тиск приблизно 4 – 5 атм.

7. Ручкою регулятора редуктора – стабілізатора тиску РДФ – 3 – 1 встановити на виході апарата надлишковий тиск кисню в межах 0,05 - 0,1 МПа. Після цього ручкою регулятора потоку встановити фіксовану швидкість потоку (≈ 2 л/хв.)

8. Включити апарат переводом тумблера в верхнє положення, при цьому повинен засвітитися індикатор на передній панелі.

9. Послідовним поворотом ручки регулятора струму встановлювати різні значення струму. Записати в таблицю величини струму та відповідні значення концентрації озону, які відображаються на світловій панелі вимірювача. Провести вимірювання концентрацій озону ще при двох – трьох значеннях потоку (1,5; 2; 2,5 л/хв.) і побудувати відповідні графічні залежності концентрації С (л/хв.) від струму I (мА).

10. При знятій верхній кришці апарата для знезараження повітря ознайомитись зі складом та його принциповою схемою. Візуально перевірити відсутність ушкоджень шнура живлення та складових елементів апарата.

11. В присутності викладача чи лаборанта ввімкнути вилку шнура живлення в розетку. Спостерігати за світінням розряду біля проволкових електродів та зміною інтенсивності та товщини шару світіння і зміною струму розряду, що регулюється відповідним потенціометром в схемі живлення електродів. За характерним запахом озону перевірити протягом не більше 1 хвилини наявність реакції синтезу озону в коронному розряді.

12. Вимкнути апарат і закрити герметично його верхню кришку. Ввімкнути апарат і виміряти концентрацію озону безпосередньо біля вихідного вікна апарата при фіксованому значенні розрядного струму. Вимірювання провести вимірювачем "Циклон – 5.41" при підведенні вхідного шлангу вимірювача безпосередньо до вихідного вікна апарату.

Вимоги до звіту

(Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.)

Звіт повинен вміщувати:

1. Ціль роботи.
2. Порядок виконання роботи.
3. Структурну схему озонотерапевтичної установки.
4. Рисунок коаксіально-циліндричної конструкції озонатора з бар'єрним розрядом.
5. Таблиці з результатами вимірювань та розрахунків.
6. Побудовані за результатами вимірювань та розрахунків графіки (за необхідності).
7. Висновки по роботі.

(Увага! Табличні данні, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.)

Контрольні питання

1. Основні властивості озону. Чим він небезпечний?
2. Методи синтезу озону.
3. Механізм синтезу озону в електричних розрядах.
4. Чому бар'єрний розряд найбільш сприятливий для синтезу озону?
5. Що таке гранично допустима концентрація озону та її величина?
6. Які сполуки крім озону синтезуються в повітряному середовищі при наявності коронного чи бар'єрного розрядів?
7. Особливості використання озону.
8. Як впливає температура кисню та наявність вологи на інтенсивність синтезу озону?
9. Схематична конструкція електродних систем озонаторів.
10. Структурна схема озонотерапевтичної установки.

Література

1. Филипов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. – М.: Изд.МГУ, 1987.
2. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда. – М.: Изд. МГУ, 1989.
3. Современные приборы физической химии (Под ред. В.И.Герасимова и П.А.Апишина. – М.: Химия, 1968)
4. Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно – ионной технологии. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987.
6. Кузьмичев А.І., Крижанівський В.І., Денбновецький С.В., Дрозд І.В. та ін. Техніка та технологія озонотерапії. Український журнал медичної техніки та технології. №1, 1994г.
7. Кузьмичев А.І., Крижанівський В.І., Денбновецький С.В., Дрозд І.В. та ін. Озонотерапевтичні комплекси. Український журнал медичної техніки та технології. №1, 1994г.
8. Денбновецький С.В., Ціделко В.Д., Кузьмичев А.І. Озонатор коронного розряду. Патент України №35972А. Надрукований 16.04.01, бюл. №3
9. Денбновецький С.В., Ціделко В.Д., Кузьмичев А.І. Озонатор з бар'єрним розрядом. Патент України №40273А. Надрукований 16.07.01, бюл. №6