

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет»**

---

**ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА ПРИ РАДИОЛИЗЕ  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ИМПУЛЬСНЫМ  
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

Методические указания к лабораторной работе  
(4 часа)

Томск – 2019

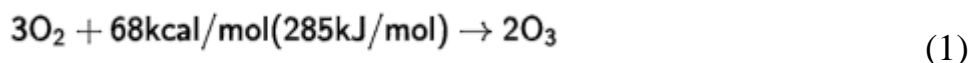
## 1. Введение

Цель работы – произвести измерение концентрации озона, образующегося при радиолизе атмосферного воздуха импульсным электронным пучком. Выявить зависимости концентрации от кратности облучения.

## 2. Общие сведения

Радиолиз — разложение химических соединений под действием ионизирующих излучений. ОЗОН, неустойчивый голубой газообразный аллотроп КИСЛОРОДА (O<sub>3</sub>). Имеет характерный резкий запах. Озон — мощный окислитель, намного более реакционноспособный, чем двухатомный кислород. Окисляет почти все металлы (за исключением золота, платины и иридия) до их высших степеней окисления. Окисляет многие неметаллы. Продуктом реакции в основном является кислород.

Образование озона проходит по обратимой реакции:



Молекула O<sub>3</sub> неустойчива и при достаточных концентрациях в воздухе при нормальных условиях самопроизвольно за несколько десятков минут[2] превращается в O<sub>2</sub> с выделением тепла. Повышение температуры и понижение давления увеличивают скорость перехода в двухатомное состояние. При больших концентрациях переход может носить взрывной характер.

### *Биологическое действие*

Высокая окисляющая способность озона и образование во многих реакциях с его участием свободных радикалов кислорода определяют его высокую токсичность. Воздействие озона на организм может приводить к преждевременной смерти. Наиболее опасное воздействие высоких концентраций озона в воздухе на органы дыхания прямым раздражением.

Озон в Российской Федерации отнесён к первому, самому высокому классу опасности вредных веществ. Нормативы по озону:

- максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК м.р.) в атмосферном воздухе населённых мест 0,16 мг/м<sup>3</sup> [1];
- среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК с.с.) в атмосферном воздухе населённых мест 0,03 мг/м<sup>3</sup> [1];
- предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны 0,1 мг/м<sup>3</sup>.
- при применении озона для целей дезинфекции воздуха в помещениях концентрация озона может достигать 10 мг/м<sup>3</sup> и более.

При этом, порог человеческого обоняния приближённо равен 0,01 мг/м<sup>3</sup>.

### *Применение*

Применение озона обусловлено его свойствами:

сильного окисляющего реагента:

- для стерилизации изделий медицинского назначения;
- при получении многих веществ в лабораторной и промышленной практике;
- для отбеливания бумаги;
- для очистки масел.

сильного дезинфицирующего средства:

- для очистки воды и воздуха от микроорганизмов (озонирование);
- для дезинфекции помещений и одежды;
- для озонирования растворов, применяемых в медицине (как для внутривенного, так и для контактного применения).

С точки зрения дезинфекции, озон эффективнее, чем хлор, в действии на бактерии, грибки и вирусы, что позволяет использовать его в существенно меньшей концентрации. Несомненным преимуществом озонирования является и то, что при этом одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение вкусовых качеств. Озон не изменяет природные свойства воды, так как его избыток (не прореагировавший озон) через несколько минут превращается в кислород. Доза озона зависит от назначения озонирования воды. Если озон вводят только для обеззараживания в фильтрованную воду (после ее предварительного коагулирования), то дозу озона принимают 1...3 мг/л, для подземной воды — 0,75...1 мг/л, при введении озона для обесцвечивания и обеззараживания воды доза озона может достигать до 4 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживаемой воды с озоном — 5...12 мин. Озон очень сильный окислитель, его окислительный потенциал — 2,06 В. Патогенные микроорганизмы уничтожаются им в 15-20 раз, а споровые формы бактерий — в 300-600 раз быстрее, чем хлором. Механизм обеззараживания воды озоном основан на его способности инактивировать сложные органические вещества белковой природы, содержащиеся в животных и растительных организмах. Чистый озон взрывоопасен, он не взрывается, если его концентрация в озон-воздушной смеси не превышает 10%, т.е. 140 г/м<sup>3</sup>. Озон токсичен и может поражать органы дыхания. ПДК озона в воздухе помещений, где находятся люди, не более 0,0001 мг/л. Для обеззараживания воды доза озона изменяется в соответствии с ее температурой и рН, а также содержанием в ней органических веществ. В ряде случаев озонирование является универсальным методом водообработки, так как кроме обеззараживания воды дезодорируются и разлагаются различные вещества, обуславливающие цветность воды, улучшается процесс коагулирования примесей. Концентрация остаточного озона после выхода воды из контактной камеры должна быть 0,1 — 0,3 мг/л. Преимущества применения озона: очень высокая окислительная способность; одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение вкусовых качеств; Передозировка озона в воде не опасна, так как через короткое время он превращается в кислород.

### **3. Экспериментальный стенд и методика измерения**

**3.1 Лабораторный стенд** (Рисунок 1) состоит: из высокоточного импульсного электронного ускорителя АСТРА-М[2] с выпуском пучка электронов в атмосферу через мембрану выпускного окна из Ti 60 мкм; реакционной камеры (РК) объемом 4,6л; компрессора атмосферного воздуха с производительностью до 100 л/час (КА); измерительного преобразователя (ИП); блока сигнализации (БС); системы газопроводов и пневматических вентилях.

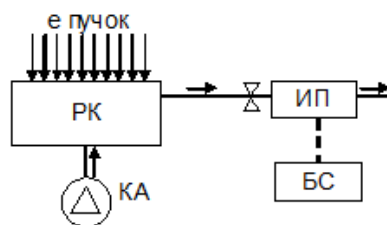


Рисунок 1. Схема эксперимента.

РК – реакционная камера; ИП – измерительный преобразователь; БС – блок сигнализации; КА – компрессор атмосферного воздуха. Стрелками показаны направления движения газа.

Длина газопроводов определяет время реакции измерительной системы на концентрацию озона в тракте. При проведении эксперимента фиксируют максимальное значение концентрации. Повторные измерения производят только после снижения показаний измерителя до нулевых значений. Реакционная камера представляет из себя кварцевую колбу высотой 300мм, внутренним диаметром 140мм и толщиной стенки 4 мм.

### 3.2 Анализатор озона.

В качестве измерителя применяется промышленный анализатор озона ЦИКЛОН 5.21. Оптический анализатор озона Циклон-5.21 предназначен для измерения массовых концентраций озона в технологических средах. Блок-схема анализатора представлена на рисунке 2. Принцип действия газоанализатора заключается в фотометрическом определении озона по собственной полосе поглощения на  $\lambda=2537\text{А}$ . Газоанализатор представляет собой однолучевой фотометр, в котором функцию второго канала выполняет источник опорного сигнала.

УФ — излучение от ртутной лампы (1) попадает в оптическую кювету (2). При продувке воздуха, в котором не содержится озона, через кювету (2) величина интенсивности светового потока, регистрируемая фотоприемником (3), максимальна. На индикаторе устанавливаются нулевые показания. При продувке озоносодержащей газовой смеси через оптическую кювету (2), оптическое поглощение на линии 253,7 нм приводит к появлению сигнала, имеющего экспоненциальную зависимость от концентрации озона. Для получения пропорциональной зависимости служит контроллер. Полученное значение концентрации озона в газовом потоке отображается на индикаторе.

Область применения

- охрана окружающей среды;
- обеспечение безопасности труда;
- исследовательские цели.

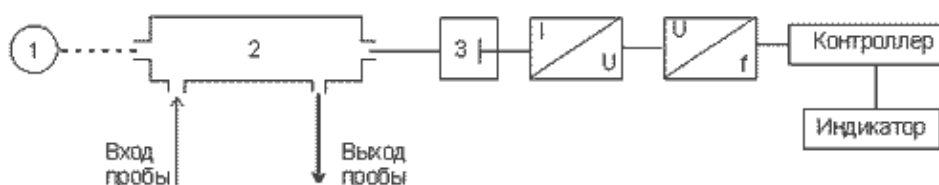


Рисунок 2. Блок-схема газоанализатора озона

Таблица 1. Технические характеристики

| Характеристики  | Значения           |        |
|---|--------------------|--------|
|   | поддиапазон        |        |
|   | I                  | II     |
| Диапазон измеряемых концентраций озона, г/м <sup>3</sup> :  | 0— 1               | 1 — 50 |
| Предел основной абсолютной погрешности измерений концентрации, г/м <sup>3</sup> :                       | ± 0,1              | -      |
| Предел основной относительной погрешности измерений концентрации на II поддиапазоне для всех моделей, % | ± 10               |        |
| Время одного измерения, с, не более (T0,9)  | 30                 |        |
| Средний срок службы, лет  | 6                  |        |
| Выходной сигнал:  | цифровая индикация |        |
| - аналоговый выход, мА  | (0 — 5); (4 — 20)  |        |
| - цифровой выход  | RS-232             |        |

#### 4. Задание к работе

4.1 Проверить готовность ускорителя АСТРА-М к проведению работы (Зарядное напряжение определяет преподаватель);

4.2 Собрать экспериментальную схему (рисунок 1);

4.3 Ознакомиться с инструкцией к газоанализатору ЦИКЛОН 5.21;

4.4 Подать питание на газоанализатор и компрессор;

4.5 Измерить полную энергию электронного пучка и среднюю кинетическую энергию электронов в пучке(лаб. №3). Оценить время обработки реакционной камеры (однократная замена воздуха в реакционной камере).

4.6 Провести измерение концентрации озона при частоте 1-3 имп./сек. для заданной скорости подачи воздуха (25, 50, 100, 150, 180л/мин);

4.7 Построить зависимость измеряемой концентрации озона от скорости подачи воздуха и частоты следования импульсов; построить зависимость количества озона(в г/час) от скорости подачи воздуха и частоты следования импульсов;

4.8 Сформировать отчёт. Оформленный отчет высылать на электронную почту преподавателя: Полосков А.В. – [poloskow@tpu.ru](mailto:poloskow@tpu.ru)

#### 5. Контрольные вопросы

1. Что такое радиолиз?
2. Сферы применения озона?
3. Порог человеческого обоняния по Озону?
4. Максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК м.р.) озона в атмосферном воздухе населённых мест?
5. Преимущества Озона перед Хлором?

#### 6. Цитируемая и рекомендуемая литература

[1]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы 2.1.6.1338-03.

[2]. Egorov, I., Esipov, V., Remnev, G., Kaikanov, M., Lukonin, E., Poloskov, A. A high-repetition rate pulsed electron accelerator (2013) IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 20 (4), № 6571453, pp. 1334-1339. DOI: 10.1109/TDEI.2013.6571453

[3]. Промышленный анализатор озона ЦИКЛОН 5.21. <https://kip-expert.by/p2089051-gazoanalizator-ozona-tsiklon.html>