

04;12

©1995

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ОЗОНА В СТРИМЕРНОМ КОРОННОМ РАЗРЯДЕ

Е.А.Гордееня

Использование стримерного коронного разряда (СКР) для получения сильных окислителей (озона и некоторых радикалов) лежит в основе перспективного метода очистки газовых выбросов промышленных предприятий от различных экотоксикантов [1-5]. Известно, что при возбуждении СКР быстронарастающими ($\frac{dU}{dt} \geq 1 \text{ кВ} \cdot \text{нс}^{-1}$) импульсами напряжения субмикросекундной длительности энергетический выход озона Y_g , рассчитанный по поглощенной в газе энергии W_g , может превышать $100 \text{ г} \cdot \text{кВт}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$, т.е. уровень, характеризующий промышленные озонаторы с барьерным разрядом [4,6,8,10,11]. Однако, как показано в [4,6-8], при использовании режимов питания, обеспечивающих указанный уровень Y_g , реализуется относительно невысокая эффективность передачи энергии $\eta = \frac{W_g}{W_C}$ от питающего конденсатора к газу (здесь W_C — энергозапас конденсатора). В зависимости от амплитуды, полярности, длительности и крутизны фронта импульса, а также длины и диаметра коронирующего провода и величины межэлектродного расстояния величина η составила в цитированных работах 0.1-0.44, а выход озона Y_C , нормированный на энергозапас конденсатора, был в 2-10 раз ниже Y_g . Наиболее высокие значения Y_C наблюдались в [4] при возбуждении СКР в режиме бегущей волны ($46.9 \text{ г} \cdot \text{кВт}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$), а также в [10] при использовании знакопеременных импульсов в сочетании с диэлектрическим барьером ($44.5 \text{ г} \cdot \text{кВт}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$).

Использование комбинированного питания (импульсное напряжение плюс напряжение постоянного смещения) позволяет, как показано в [5], практически полностью разрядить питающий конденсатор на СКР. Однако при использовании этого способа питания для получения озона в [6,8] не были получены более высокие значения Y_C , чем в [4,10].

В настоящей работе, являющейся продолжением [10], продемонстрирована возможность значительного увеличения Y_C (до $85.5 \text{ г} \cdot \text{кВт}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$) за счет оптимизации дли-

C , пФ	U_3 , кВ	W_C , Дж	RC , мкс	N_{O_3} , мол/имп.	L^* , м/Дж	Y_C , г·кВт ⁻¹ ·ч ⁻¹
1300	55	2.0	5.0	$2.21 \cdot 10^{17}$	2.3	31.5
290	44	0.280	6.5	$5.2 \cdot 10^{16}$	21.8	53.3
184	44	0.178	7.3	$3.47 \cdot 10^{16}$	34.4	57.6
92.8	45	0.094	3.7	$2.70 \cdot 10^{16}$	65	82.5

ны коронирующего провода L . При этом обеспечивается высокая плазмохимическая эффективность разряда $Y_g \approx 128 \text{ г} \cdot \text{кВт}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ и значительно улучшается согласование источника питания с нагрузкой.

Эксперименты выполнялись в неосушенном воздухе атмосферного давления. Для возбуждения СКР использовались аperiodические импульсы положительной полярности с крутизной фронта $\frac{dU}{dt} > 1 \text{ кВ} \cdot \text{нс}^{-1}$. Постоянная времени RC спада напряжения на холостом ходу поддерживалась в пределах 3–7 мкс, что соответствовало получению наиболее высоких значений Y_C в [10], где приведено также подробное описание экспериментальной установки. Концентрация озона измерялась по поглощению УФ излучения с длиной волны $\lambda = 2536.5 \text{ \AA}$. В качестве коронирующего электрода использован нихромовый провод диаметром 0.2 мм, размещенный на электрической рамке $0.3 \times 0.36 \text{ м}$ с расстоянием между витками $h = 15\text{--}20 \text{ мм}$.

На возможность дальнейшего увеличения Y_C указывал наблюдавшийся в [10] слабый рост выхода озона в импульсе с увеличением L (или числа витков $n_{\text{вит}}$ провода на рамке). Для изучения этой возможности была выполнена серия экспериментов, в которых измерялся выход озона N_{O_3} и вычислялось значение Y_C при различных значениях емкости питающего конденсатора C . Результаты экспериментов, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что увеличение длины провода, приведенной к энергозапасу источника питания, $L^* = \frac{L}{W_C}$ позволяет значительно повысить эффективность использования запасенной энергии.

Здесь U_3 — зарядное напряжение конденсатора. Уточнить максимальное значение Y_C позволило отыскание максимума функции $N_{O_3}(n_{\text{вит}})$, показанной на рис. 1, где приведены также зависимости от $n_{\text{вит}}$ доли энергии $\eta_R = \frac{W_R}{W_C}$, выделяющейся во времязадающем резисторе за время протекания тока короны, и доли энергии $\eta_{\text{ост}} = \frac{W_{\text{ост}}}{W_C}$, остающейся в конденсаторе после окончания тока короны. Как видно из рисунка, при оптимальной длине провода (или $n_{\text{вит}}$) наряду с максимальным входом озона реализуются минимальные значения W_R и $W_{\text{ост}}$.

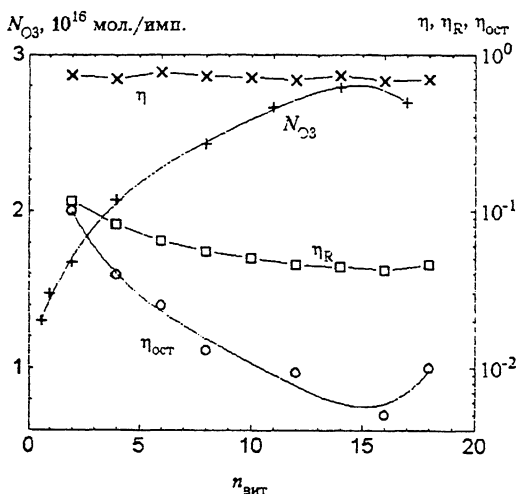


Рис. 1. Выход озона, энерговыделение в газе, резисторе, остаток энергии в питающем конденсаторе.

Для определения W_R , $W_{\text{ост}}$ и W_g использовались сфазированные осциллограммы напряжения и тока (рис. 2), полученные с помощью высоковольтного осциллографа ОВ-2 с полосой пропускания 50 МГц. Суммарные потери во времязадающем резисторе $W_R + W_{\text{ост}}$ составили при минимальном и оптимальном $n_{\text{вит}}$ соответственно 20 и 4.0 %. Дальнейшее уменьшение этих потерь возможно за счет увеличения сопротивления резистора. Величина W_g ограничивалась главным образом потерями в искровом разряднике и практически не зависела от $n_{\text{вит}}$ (рис. 1), находясь в пределах $(0.68-0.76)W_C$. При анализе осциллограмм, в частности, установлено, что длительность импульса напряжения τ_n на СКР уменьшается с увеличением $n_{\text{вит}}$ и минимальна при оптимальной длине провода (рис. 2). С точки зрения эффективности синтеза озона в СКР уменьшение τ_n является благоприятным фактором, так как способствует уменьшению доли энергии, выделяющейся в плазме стримерных каналов, где эффективность диссоциации O_2 низка. В условиях данного эксперимента с увеличением L^* от 3.8 ($n_{\text{вит}} = 1$) до 57 м/Дж ($n_{\text{вит}} = 15$) величина Y_C возрастала от 60 до $128 \text{ г} \cdot \text{кВт}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Таким образом, в эксперименте показано, что оптимизация длины коронирующего провода позволяет повысить энергетический выход озона, рассчитанный по потребляемой мощности, до уровня, характеризующего промышленные озонаторы с барьерным разрядом [12]. В сочетании с известными преимуществами коронно-разрядных систем

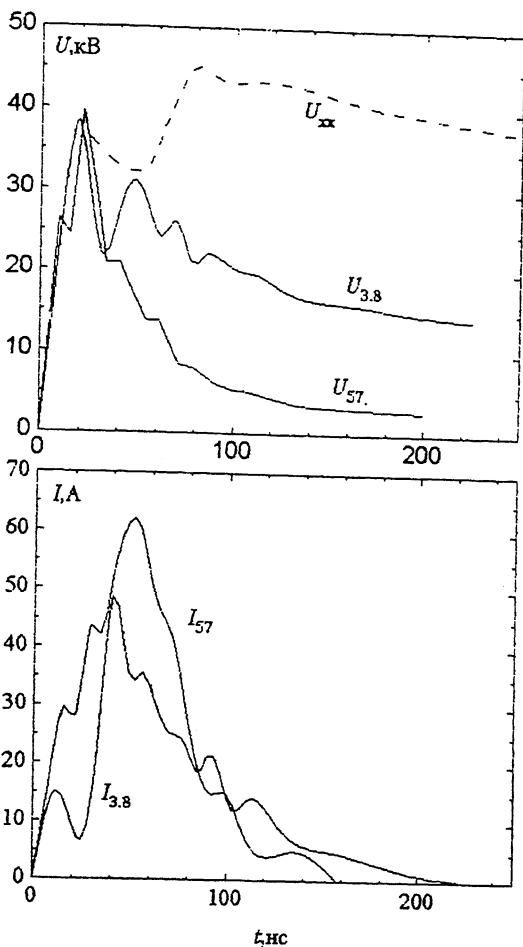


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока СКР:

$U_{3.8}$, $I_{3.8}$ — напряжение и ток при $L^* = 3.8$ м/Дж. U_{57} , I_{57} — то же при $L^* = 57$ м/Дж. U_{xx} — напряжение холостого хода; $C = 92.8$ пФ.

этот факт приобретает большое практическое значение и позволяет рассматривать СКР как перспективный способ получения озона в относительно невысоких концентрациях.

Автор благодарен Р.Х.Амирову за ряд ценных замечаний, сделанных при обсуждении результатов.

Список литературы

- [1] *Валуев А.А., Каклюгин А.С., Норман Г.Э. и др.* // ТВТ. 1990. Т. 28. № 5. С. 995-1008.
- [2] *Masuda S.* // Pure & Appl. Chem. 1988. V. 60. N 5. P. 727-731.
- [3] *Шведчиков А.П., Белоусова Э.В., Полякова А.В. и др.* // ХВЭ. 1992. Т. 26. № 4. С. 317-319.
- [4] *Masuda S., Sato M., Seki T.* // IEEE Trans. Ind. Appl. 1986. V. IA-22. N 5. P. 886-891.
- [5] *Rea M., Yan K.* // NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control. Cambridge University, UK, Sept. 21-25. 1992.
- [6] *Амиров Р.Х., Асиновский Э.И., Самойлов И.С., Шепелин А.В.* // Препринт ИВТАН № 1-314. М., 1991. 21 с.
- [7] *Амиров Р.Х., Асиновский Э.И., Самойлов И.С., Шепелин А.В.* // Применение электронных пучков и импульсных разрядов для очистки дымовых газов. Материалы семинара. М.: ИВТАН, окт. 1991. С. 42-46.
- [8] *Шепелин А.В., Амиров Р.Х., Самойлов И.С.* // Препринт ИВТАН № 1-372. М., 1993. 43 с.
- [9] *Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В.* Физическая химия барьерного разряда. М.: Изд-во МГУ, 1989. 175 с.
- [10] *Gordeyeva E.A., Matveyev A.A.* // Plasma Sources Sci. Technol. 1994. V. 3. N 4. P. 575-583.
- [11] *Mizuno A., Kamase Y.* // Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. 22nd Annu. Meet. Atlanta, Oct. 18-23. 1987. Pt 2. P. 1534-1538.
- [12] *Баранов С.С., Орлов А.А., Лейбовский М.Г.* Современные конструкции озонаторов. Обзорная информация. 1984. 39 с. (Серия ХМ-1. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ).

Высоковольтный
научно-исследовательский центр
Всероссийского электротехнического
института, Истра

Поступило в Редакцию
4 мая 1995 г.