

УДК 502/504:697.9

*В. Ф. Сторчевой, доктор техн. наук, профессор**Р. Ю. Чернов, аспирант*Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
ОЗОНИРОВАННОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРОТОЧНЫМ
ИОНИЗАТОРОМ-ОЗОНАТОРОМ***Рассмотрены вопросы образования молекул озона и ионов в разрядной камере ионизатора-озонатора и распространения ионизированной воздушной массы по всему помещению. Приведены экспериментальные данные этих исследований.**Questions of formation of molecules of ozone and ions in the digit chamber of an ionizer-ozonizer and distribution of the ionised air weight on all premise are considered. Experimental data of these researches is resulted.*

Проточные системы ионизаторов-озонаторов хорошо зарекомендовали себя при дезинфекции и дезодорации животноводческих и птицеводческих помещений, в основном при отсутствии животных и птицы, так как производительность таких аппаратов имеет высокую концентрацию озона.

Электрические разряды в воздушной газовой смеси происходят за счет электрически заряженных частиц. Практически только эти частицы воспринимают энергию электрического поля, т. е. энергия разряда передает энергию движения электронов и ионов реагирующим молекулам.

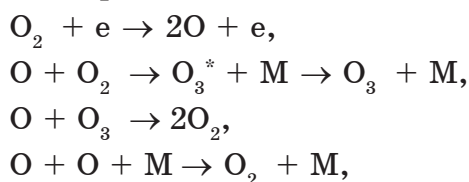
В процессе ионизации газов, входящих в состав воздуха, в разрядной камере образуются аэроионы. Ионизация происходит в два этапа. На первом этапе ионизации при энергии 13,58 эВ (1 эВ — энергия, которую приобретает электрон, проходящий в электрическом поле с разностью потенциалов, равной 1 В) каждый отдельный атом кислорода преобразуются в аэроион. Под действием ионизирующего излучения молекуле или атому газа сообщается энергия, необходимая для удаления одного электрона из сферы действия ядра. Нейтральный атом становится положительно заряженным, а образовавшийся свободный электрон

присоединяется к одному из нейтральных атомов и, передавая ему отрицательный заряд, образует отрицательный аэроион. Первично образовавшиеся аэроионы существуют совсем недолго. На втором этапе ионизации при энергии 34,96 эВ биологически активным ионам обеспечивается необходимая устойчивость. Под действием поляризованных сил к первично образовавшимся аэроионам присоединяется определенное число нейтральных молекул газов. В результате образуются комплексы молекул — легкие аэроионы, которые, сталкиваясь с присутствующими в воздухе ядрами конденсации, оседают на них и отдают им свой заряд. Образуются вторичные аэроионы — устойчивые и более крупных размеров. Атомы и молекулы кислорода образуют отрицательные ионы O^- и O_2^- . В образовании озона в разрядной системе основную роль играют электронно-возбужденные молекулы, получающиеся при столкновении с электронами, и аэроионы.

Образование озона в барьерном разряде осуществляется в сильно ионизированном газе (плазме), который состоит из молекул или атомов, ионов и электронов. Разряд в озонаторе происходит между диэлектрическими электродами при давлении, близком к ат-

мосферному. Электронно-возбужденные молекулы, получающиеся при столкновении нормальных молекул с электронами, играют основную роль при образовании озона в барьерном разряде, процесс становится интенсивным при энергии электронов 8...10 эВ, меньше той, которая требуется для ионизации молекулы кислорода — 13,5 эВ.

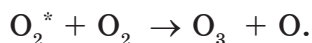
Принято считать, что при прохождении через зону разряда молекулы кислорода частично диссоциируют:



где M — любая третья частица аэрозоля.

С молекулой кислорода реагирует образовавшийся атомарный кислород, образуя озон. В случае присутствия в системе достаточно большого количества озона он может реагировать с атомами кислорода, превращаясь в молекулы кислорода.

При образовании озона большое участие принимают возбужденные молекулы кислорода O_2^* :



Способность озона легко распадаться с образованием кислорода делает его сильным окислителем. При действии озона на неорганические вещества происходит его окисление до высших окисных соединений, при действии на органические вещества происходит присоединение озона по месту разрыва двойной связи и образование озонидов.

Следует отметить, что протекание большого числа химических процессов в разряде и неоднородность самого разряда пока не позволили оценить доли отдельных реакций в суммарном процессе. Электрическая теория озонаторов сложна, и многие вопросы электросинтеза озона недостаточно разработаны и в настоящее время.

Распространение и движение воздушной ионно-озонной смеси в проточном ионизаторе-озонаторе осуществляется с помощью вентилятора. Для

обеспечения эффективной обработки помещений воздушной ионно-озонной смесью необходимо знать характер движения и распределения этой смеси в воздушной среде дезинфекционной камеры с учетом изменения концентраций отрицательных ионов и озона на разных расстояниях от выпускного отверстия.

Известно, что приточная струя, входя в дезинфекционную камеру, заполненную воздухом, увлекает в движение окружающие массы воздуха, в результате чего масса струи в направлении движения будет возрастать, а скорость движущегося воздуха уменьшаться. Уменьшение скорости движения воздуха происходит сравнительно медленно. Так, на расстоянии 15 диаметров выпускного отверстия, из которого истекает воздух, сохраняется скорость, равная 0,2 началь-

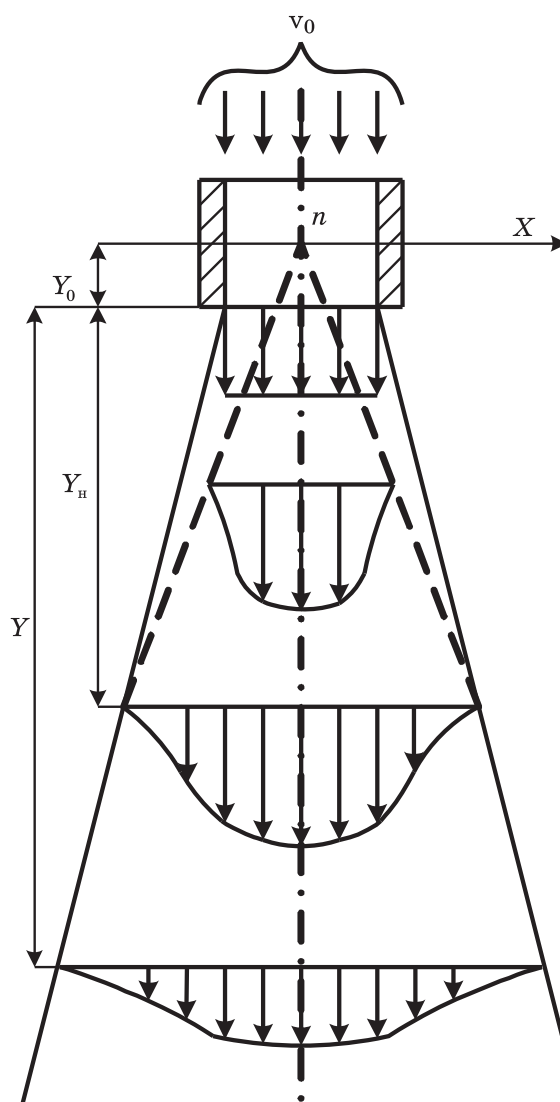


Рис. 1. Схема воздушной ионно-озонной струи

ной скорости, а объем перемещаемого воздуха увеличивается в 4,6 раза.

На рис. 1 представлена схема воздушной ионно-озонной струи, движущейся из круглого выпускного отверстия проточного ионизатора-озонатора.

Струю можно разбить на два участка — начальный и основной. На начальном участке на оси струи сохраняется неизменная начальная скорость истечения ионов и молекул озона, которая может быть рассчитана по формуле

$$v = \frac{dy}{dt} = v_0 + \frac{Eq}{k}, \quad (1)$$

где v — скорость движения частиц; v_0 — скорость потока воздуха; E — напряженность электрического поля; q — заряд частицы;

$$k = \frac{9\mu}{2\rho r^2}, \quad (2)$$

где μ — динамическая вязкость воздуха; ρ — плотность заряженной молекулы воздуха; r — радиус заряженной молекулы воздуха.

Граница начального участка и положения полюса струи Π (образующегося при пересечении границ основного участка) зависят от степени турбулентности струи. В основном участке скорость, как на оси струи, так и в периферийной части, по мере удаления от выпускного отверстия непрерывно уменьшается.

Профили скоростей движущегося воздуха в различных поперечных сечениях основного участка струи подобны и описываются одними и теми же безразмерными характеристиками.

Относительную осевую скорость струи для круглого выпускного отверстия рассчитывают так:

$$\bar{v}_{oc} = \frac{v_{oc}}{v_{oc}^*} = \frac{12,4\sqrt{\beta_0}}{Y' - Y'_0}, \quad (3)$$

где β_0 — поправочный коэффициент, зависящий от конструктивной особенности насадки выпускного отверстия; Y' — относительное расстояние, равное отношению расстояния от выпускного отверстия до рассматриваемого сечения к радиусу выпускного отверстия.

Объемный относительный расход воздуха определяют по формуле

$$\bar{L} = \frac{L_Y}{L_0} = 0,155\sqrt{\beta_0}(Y' - Y'_0). \quad (4)$$

Тогда средняя относительная скорость по расходу

$$\bar{v}_M = \frac{v_M}{v_0^*} = \frac{6,45\sqrt{\beta_0}}{(Y' - Y'_0)}. \quad (5)$$

Формулы (3), (4), (5) позволяют рассчитывать относительный объем воздуха и относительную скорость движения воздушной ионно-озонной струи без учета изменения концентраций ионов и молекул озона.

Выявление изменений средних концентраций озона по длине струи производили экспериментально при постоянной скорости движения воздушной ионно-озонной струи, температуре, влажности для разных расходов (таблица). В результате были получены зависимости изменения концентрации озона в дезинфекционной камере, представленные на рис. 2.

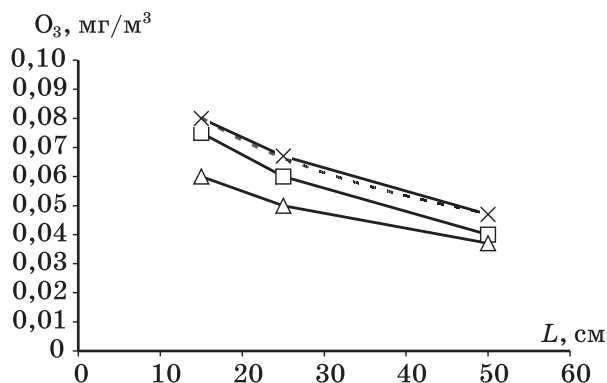


Рис. 2. Распространение озона по длине струи проточного ионизатора-озонатора. Опытные данные: —□— — 26,25 м³/ч; —×— — 52,5 м³/ч; —△— — 105 м³/ч; - - - — расчетные данные, логарифмический расчет (52,5 м³/ч)

Анализируя рисунок, можно сделать следующий вывод: концентрация озона резко падает при переходе с начального участка струи в основной участок струи. Это можно объяснить тем, что на границе соприкосновения ионно-озонной смеси с окружающим воздухом дезинфекционной камеры возникает турбулентное перемешивание, вызывающее обмен импульсов энергии между заряженными и свободными молекулами воздушной массы. На основном участке воздушной ионно-озонной струи снижение концентраций ионов и озона проходит более плавно.

Таблица экспериментальных данных

Барьер	U , кВ	f , Гц	t , с	L , см	O_3 , мг/м ³	Расход, м ³ /ч
Пластик	10	50	30	15	0,075	26,25
				25	0,06	
				50	0,04	
				15	0,08	52,5
				25	0,067	
				50	0,047	
				15	0,06	105
				25	0,05	
				50	0,037	

Аппроксимацию этих графических зависимостей проводили следующими функциями: арифметической, логарифмической, экспоненциальной, степенной, полиномиальной.

Значимость функций определяли с помощью величины R^2 (величина достоверности аппроксимации).

Аппроксимацию проводили для расхода 52,3 м³/ч. Наибольшая величина R^2 (0,9988) была получена при помощи логарифмической функции, ее и приняли для аппроксимации.

Аппроксимация графической зависимости изменения концентрации озона при распределении и движении воздушной ионно-озонной смеси по длине струи выражается так:

$$O_3 = -0,0275 \ln(L) + 0,1548,$$

где L — длина воздушной ионно-озонной струи.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

с течением времени количество озона и ионов достигает требуемых величин предельно допустимой концентрации, так как воздух активно перемешивается воздушной ионно-озонной смесью с помощью встроенного вентилятора;

при расходе 52,5 м³/ч получена наибольшая концентрация озона по длине струи при напряжении 10 кВ (см. рис. 2.);

при расходе 26,25 м³/ч и 105 м³/ч концентрация озона в реакционной камере снижается, это связано со скоростью и количеством воздуха, продуваемого через реакционную камеру, и процессом разложения озона в самой камере.

Ключевые слова: ионизатор-озонатор, аэроионы, атомарный кислород, предельно допустимая концентрация озона, отрицательные ионы O^- и O_2^- , ионно-озонная струя, степень турбулентности струи.

Список литературы

1. **Сторчевой, В. Ф.** Ионизация и озонирование воздушной среды [Текст] : монография / В. Ф. Сторчевой. — М. : МГУП, 2003. — 169 с.
2. **Ксенз, Н. В.** Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений [Текст] / Н. В. Ксенз. — Зерноград, 1991. — 171 с.