

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 628.16.094.3-926.214
+622.462+51-74+612.273

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНЦЕНТРАЦИИ ОЗОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ В НИХ ОЗОНАТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Н.А.Четвергов, Н.С.Безруких, Е.Г.Безруких*

Озонаторы – это специальные устройства для синтеза озона из кислорода, находящегося в воздухе. Их безопасное применение на производстве и в быту весьма актуально. В настоящей работе в результате созданной математической модели получены графики зависимости равновесной концентрации озона в закрытых помещениях. Кроме того, определено время распада озона до уровня предельно допустимой концентрации для различных типов озонаторов.

В настоящее время некоторые предприятия разрабатывают, производят и предлагают для продажи приборы (озонаторы), синтезирующие озон, в целях обработки жилых, служебных, производственных помещений. Обработка помещений озоном предпринимается для дезодорации, детоксикации, биологической очистки или санации, демеркуризации, изменения ионно-озонного баланса воздуха.

Полезное воздействие озонирования на воздух, содержащийся в помещениях, несомненно, но только при условии правильного применения озонаторов. Проблема состоит в том, что озон, будучи модификацией кислорода, при больших концентрациях оказывает токсичное воздействие на организм человека и животных, хотя в малых концентрациях совершенно безопасен, более того, существует мнение, что полное его отсутствие отрицательно сказывается на работоспособности человека [1].

Установлена и предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе, которая составляет $0,03 \text{ мг/м}^3$ [2]. Содержание озона, не превышающее данное значение, безопасно для человека и животных.

Цель настоящей работы состоит в выполнении расчета динамических характеристик концентрации озона в закрытых помещениях различных объемов при работе в них озонаторов, разработанных и выпускаемых НПО «Пульсар» (г.Красноярск).

Схема озонирования замкнутого помещения озонатором, находящимся внутри данного помещения, приведена на рис. 1.

Исходные параметры для создания модели динамики заполнения помещения озоном следующие:

- $V, \text{ м}^3$ - объем помещения;
- $M, \text{ кг}$ - общая масса газа в помещении;
- $M_0(O_2), \text{ кг}$ - массовое содержание кислорода в исходном воздухе;
- $Q, \text{ кг/с}$ - массовый поток газа через озонатор;
- $T, \text{ с}$ - период полураспада озона в помещении;
- $\lambda=0,693/T, 1/\text{с}$ - константа распада озона в нормальных условиях;
- $C, \text{ кг/м}^3$ - концентрация озона на выходе озонатора.

Рассмотрим условия, в которых обработанный озонатором газ не будет снова попадать на вход озонатора. Для этих условий массовый поток озона на выходе озонатора обозначим как $m(O_3)$, а массовый поток кислорода как $m(O_2)$. В озонаторе часть кислорода под воздействием электрического барьерного разряда превращается в озон, коэффициент преобразования $\beta = \frac{m(O_3)}{m(O_2)}$. В действительности же, в озонатор со вре-

менем подается не исходный воздух, а воздух, уже насыщенный озоном. Причем озон, вторично попавший в разрядный промежуток озонатора, в зону с повышенной температурой, распадается. При этих условиях общий массовый поток озона на выходе озонатора равен сумме $m(O_3)$ и $\alpha m'(O_3)$, где коэффициент α характеризует величину нераспавшегося озона, поступающего на выход озонатора ($\alpha < 1$), $m'(O_3)$ – массовый поток озона на входе озонатора.

Таким образом, уравнение баланса для общей массы озона в помещении $M(O_3)$ можно представить в виде

* © Н.А.Четвергов, Красноярский государственный университет; Н.С.Безруких, Сибирский государственный технологический университет; Е.Г.Безруких НПО «Пульсар», 2005.

$$\frac{dM(O_3)}{dt} = m(O_3) + \alpha m'(O_3) - m''(O_3) - \lambda M(O_3). \quad (1)$$

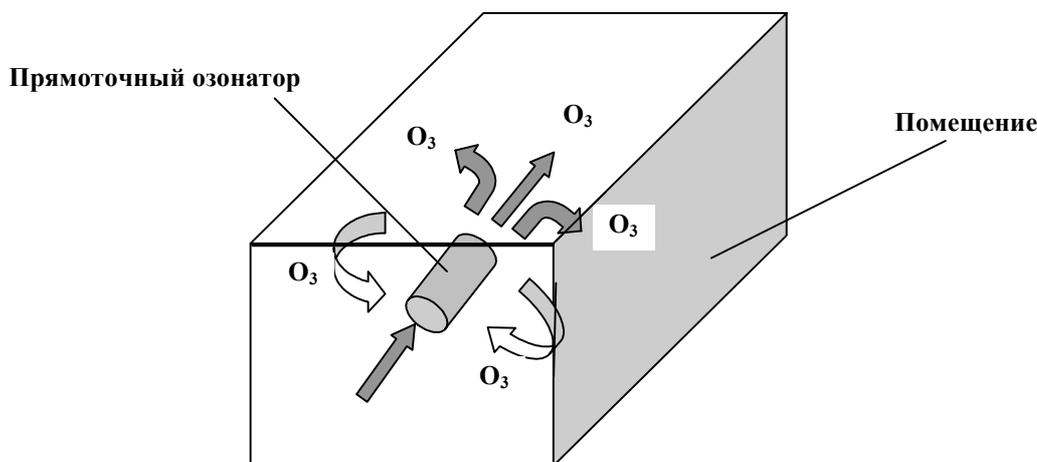


Рис. 1. Схема озонирования замкнутого помещения

Для упрощения дальнейших выкладок предположим, что в объеме помещения V происходит идеальное перемешивание газа. В этих условиях можно записать соотношения

$$\frac{m'(O_3)}{Q} = \frac{M(O_3)}{M}, \quad \frac{m(O_2)}{Q} = \frac{M(O_2)}{M}.$$

Используя эти соотношения, уравнение (1) можно привести к виду

$$\frac{dM(O_3)}{dt} = \beta \frac{M_0(O_2) - M(O_3)}{M} Q + \alpha \frac{M(O_3)}{M} - \frac{M(O_3)}{M} Q - \lambda M(O_3). \quad (2)$$

Выполнив несложные преобразования, уравнение можно представить в более удобной форме:

$$\frac{dM(O_3)}{dt} = \beta Q \frac{M_0(O_2)}{M} - \left(\frac{1 + \beta - \alpha}{M} Q + \lambda \right) M(O_3). \quad (3)$$

Это уравнение имеет следующее решение.

$$M(O_3) = \frac{\beta Q M_0(O_2)}{(1 + \beta - \alpha) Q + \lambda M} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{1 + \beta - \alpha}{M} Q + \lambda \right) t \right] \right\} + M_0(O_2) \exp \left[- \left(\frac{1 + \beta - \alpha}{M} Q + \lambda \right) t \right]. \quad (4)$$

Контролируемым параметром, измеряемым инструментально, в процессе обработки помещений является концентрация в нем озона

$$C = \frac{M(O_3)}{V}.$$

При дальнейших расчетах, как указывалось выше, параметр λ принимается равным $\lambda = 0,693/T$, где T – период полураспада озона [3]. Значение величины T несколько варьируется в различных источниках и, в действительности, зависит от температуры, давления, состава газа (наличия в нем различных загрязнений, их концентраций и т. д.). Нас, прежде всего, интересует период полураспада озона в воздухе, заполняющем жилые и служебные помещения при нормальных условиях (температура 18...30 °С, нормальное давление) и при относительно невысокой степени его загрязненности. Величина этого параметра определялась экспериментально. Экспериментальная кривая зависимости концентрации озона в закрытом помещении при нормальных условиях приведена на рис. 2.

Из графика, изображенного на рис. 2, следует, что период полураспада озона в помещении с невысоким уровнем загрязнений воздуха и при нормальных условиях составляет 5 мин.

Для проведения расчетов не достаёт значения параметра α , характеризующего степень распада озона, вторично попавшего в зону разреза озонатора. На рис. 3 приведена экспериментальная кривая динамики концентрации озона в помещении объемом 9,4 м³ с работающим в нем озонатором (пунктирная линия). Характеристики озонатора следующие: концентрация озона на выходе $C = 80 \text{ мг/м}^3$, производительность по

озону $A=7$ г/ч. По формуле (4) были произведены расчеты зависимости концентрации озона в помещении от времени работы озонатора при указанных выше параметрах и различных α (1,0; 0,9; 0,7; 0,5; 0). На рис. 3 приведена кривая при значении $\alpha=0,7$ (сплошная линия). Как видно из рисунка, при этом значении параметра α экспериментальная и расчетная кривые имеют удовлетворительное совпадение.

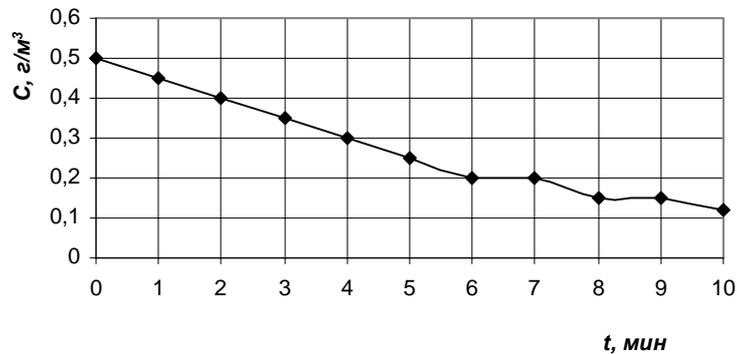


Рис. 2. Экспериментальный график распада озона

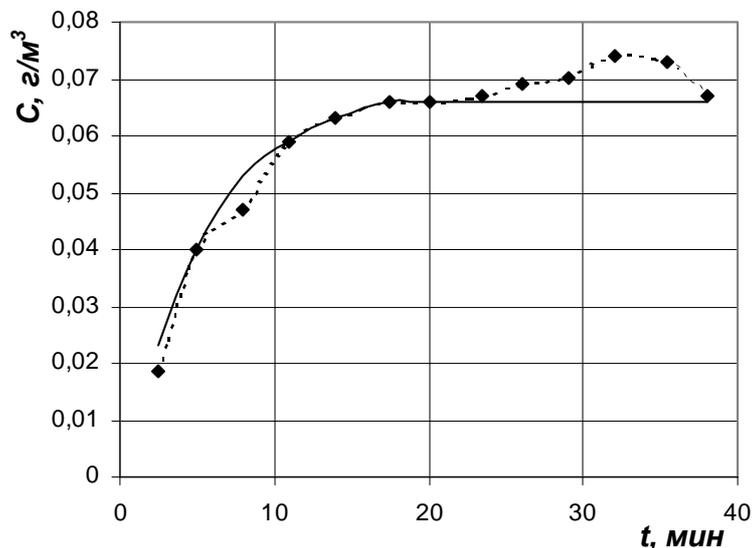


Рис. 3. Изменение концентрации озона в помещении от времени работы озонатора

Анализ кривых, приведенных на рис. 3 показывает, что начальные их части представлены прямыми линиями и отражают пропорциональную зависимость концентрации озона от времени работы озонатора. Затем наблюдается отклонение от прямой с постепенным переходом на плато, величина которого есть предел, не зависящий от дальнейшего времени озонирования, что является следствием процесса разложения озона.

Теоретически равновесное значение концентрации озона C_p в закрытом помещении при работе в нем озонатора можно получить из выражения (4) при $t \rightarrow \infty$:

$$C_p = \frac{\beta Q M_0(O_2)}{[(1 + \beta - \alpha)Q + \lambda M]V}. \quad (5)$$

Научно-производственное объединение «Пульсар» (г. Красноярск) выпускает три типа озонаторов для обработки воздуха в помещении: «Озон 5П» (далее О-5П), «Озон-5М» (далее О-5М) и «Озон-60П» (далее О-60П). Характеристики этих озонаторов приведены в табл. 1.

На рис. 4 изображены кривые значений C_p для различных типов озонаторов и для различных объемов помещений.

По данным кривым потребитель, приобретший озонатор одного из трех типов, и зная объем своего помещения, легко может определить максимальное значение концентрации озона, которое может быть достигнуто. Анализ полученных значений показывает, что практически все величины концентраций превышают

значения ПДК=0,03 мг/м³. А это означает, что во время обработки помещений указанными выше озонаторами длительное присутствие в них человека и животных не допускается.

Таблица 1

Характеристики озонаторов типа «Озон»

Тип озонатора	Концентрация озона на выходе C , г/м ³	Поток газа через озонатор Q , м ³ /час	Производительность A , мг/час
О-5П	0,064	4,3	0,27
О-5М	0,085	8,4	0,71
О-60М	0,28	121,5	34,0

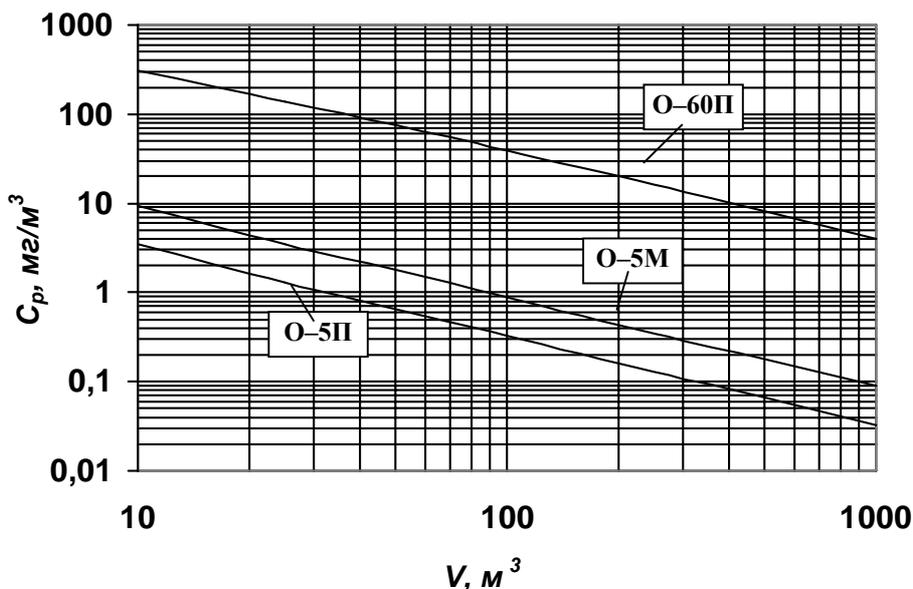


Рис. 4. Зависимость равновесной концентрации озона от объема помещения для различных озонаторов

После выключения озонатора озон в помещении достаточно быстро распадается, превращаясь в кислород. Динамика распада озона описывается формулой

$$C(t) = C_p \exp(-\lambda t). \tag{5}$$

Используя формулу (5), посчитаем время, прошедшее после выключения озонатора, через которое нахождение в обработанном озонном помещении безопасно для человека. Данные расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные данные времени степени концентрации до ПДК

Объем помещения V , м ³	Время снижения концентрации озона до ПДК, мин		
	«Озон-5П»	«Озон-5М»	«Озон-60П»
10	35	41	66
25	27	34	61
50	22	29	56
100	17	24	51
250	10	18	45
500	5,5	13	40
1000	0,5	7,5	35

Сравнение приведенных экспериментальных данных с расчетными показывают их удовлетворительное совпадение. Таким образом, потребитель, приобретя озонатор для обработки помещений и зная его характеристики, может воспользоваться полученными расчетными результатами. Эти результаты могут быть использованы для определения как максимально достижимой концентрации озона в помещении, так и времени достижения безопасных концентраций озона, когда нахождение человека и животных в помещении может быть безопасно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунин В.В. Физическая химия озона / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. – М.: Изд-во МГУ, 1998.-480 с.
2. Малышева А.Г. Методические основы изучения гигиенической безопасности при эксплуатации бытовых озонаторов / А.Г. Малышева //Гигиена и санитария–1994.–№9.– С. 42-46.
3. Безруких Е.Г. Расчет концентрации озона, создаваемой озонатором в замкнутом объеме / Е.Г. Безруких, А.П. Гаврилюк, Н.К. Зайцев и др. – Красноярск: ИФ СО РАН, 1996. –25 с.

ACCOUNT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF CONCENTRATION OF AN OZONE IN AN AIR OF LOCATIONS FOR WANT OF TO WORK IN THEM A SYSTEMS FOR OZONIZATION OF VARIOUS PRODUCTIVITY

N.A.Thetvergov, N.S.Bezrukih, E.G.Bezrukih

The systems for ozonization uses for synthesis of an ozone from oxygen were in an air. Their safe application on production and in household activities is rather actual. In the present work in an outcome of the created mathematical model the schedules of dependence of equilibrium concentration of an ozone in the closed locations are obtained. Besides the time of disintegration of an ozone up to a level of extreme allowable concentration for various types of system for ozonization is certain.