

Очистка воздуха закрытых помещений от гриппозных вирусов методом озонирования

Гетманов В.Н., Доцент СУНЦ НГУ, Академик ПАНИ.

Аннотация: Обосновано применение бытовых озонаторов для устранения гриппозных вирусов из воздуха и поверхностей закрытых помещений в часовом цикле на уровне до 4ПДК. Обсуждается эффект совместного применения озонаторов и кварцевых рециркуляторов.

1. Общий подход.

Согласно [1], для инактивации гриппозного вируса требуется концентрация озона в воздухе $k = 0,2 \text{ мг/м}^3$, что составляет 2 ПДК, при экспозиции $T=60$ минут, либо 4 ПДК при $T= 30$ минут. Поскольку при подаче озона в атмосферу его концентрация возрастает постепенно (см. Таблицу 1), то для достижения нужного результата необходимо либо поднимать конечную величину выше 4ПДК, либо продлевать время очистки.

Запишем уравнение накопления озона $q(t)$, с учётом его распада, в виде:

$$(1) \quad q(t) = \alpha t - \int_0^t dq, \text{ где } dq = q(t)dt/(2t_0),$$

где αt – масса подаваемого озона, dq – масса распадающегося озона за время dt , t_0 -период полураспада озона. Тогда:

$$(2) \quad dq/dt = \alpha - q(t)/(2t_0),$$

откуда следует решение:

$$(3) \quad q(t) = 2\alpha t_0 (1 - \exp(-t/(2t_0))) = Q_M (1 - \exp(-t/(2t_0))),$$

где $\alpha t_0 = q_0$ – масса вырабатываемого озонатором озона за время t_0 его полураспада в атмосфере; $q(t)$ – текущее значение накопленного озона в помещении;

$Q_M = 2q_0$ – максимально возможная масса накопленного в объёме озона.

Временную зависимость накопленного объёма озона, в относительных единицах, согласно (3), можно представить в виде таблицы 1:

t/t_0	1	2	3	4	5
q/Q_M	0,393	0,632	0,777	0,86	0,918

2. Распад озона.

Величина периода полураспада озона зависит от многих факторов: температуры воздуха, его влажности, количества и состава примесей, степени вентилирования помещения. Нагревание и контакт озона с ничтожными количествами органических веществ, некоторых металлов или их окислов резко ускоряет превращение. Наоборот, присутствие небольших количеств HNO_3 стабилизирует озон.

Согласно [2,3]: **«В нормальных условиях период полураспада озона в помещении составляет от 7 до 10 мин и определяется в основном поверхностным**

расщеплением и воздухообменом.» Эту величину нельзя путать с приводимыми в таблицах значениями времени полураспада в чистом воздухе, которые многократно выше. (В стеклянных и специальных металлических контейнерах при $T = -78^{\circ} \text{C}$, озон вообще не разлагается.) Вместе с тем, это указывает на необходимость экспериментальных исследований для работы в больших, специализированных и слабо изолированных помещениях.

В наших расчётах применим величину $t_0 = 10$ минут.

3. Практическая реализация.

3.1 Очистка воздуха в жилом помещении.

В качестве примера, рассмотрим применение доступного бытового озонатора **GL-3188** [4], производительностью $\alpha = 400$ мг в час, или **6,67 мг** в минуту, при максимально допустимой продолжительности его непрерывной работы $t_M = 30$ минут. Работа озона по окислению среды продолжается и после отключения озонатора, когда накопленный озон уменьшает свою массу вдвое каждые 10 минут. Поэтому наличие озона в объёме в относительных единицах от максимально возможного значения Q_M , в зависимости от времени, представлено, в таблице 2 и на рис.1.

Таблица 2.

t/t_0	0	1	2	3	4	5	6	7
q/Q_M	0	0,393	0,632	0,777	0,389	0,194	0,097	0,048

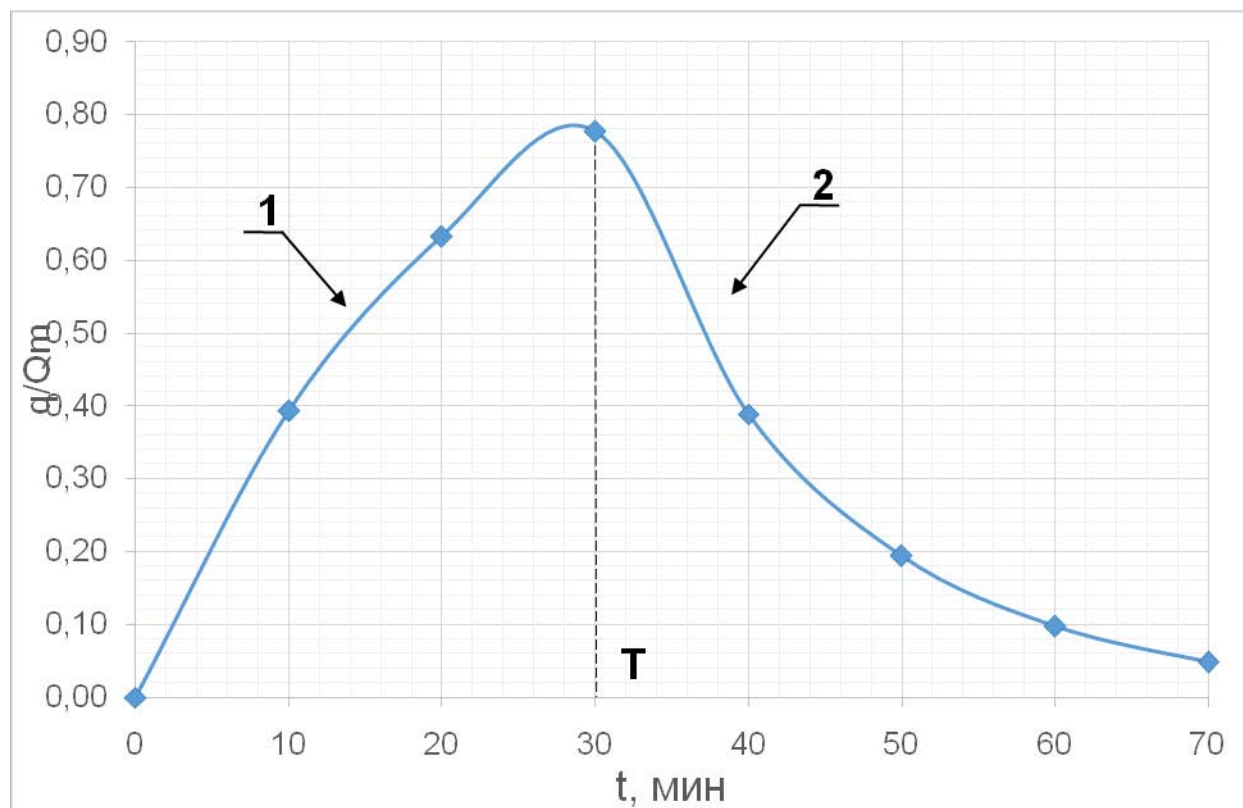


Рисунок 1. Схема накопления озона в объёме при отсутствии людей.

Здесь 1 – фаза накопления озона в воздухе; 2 – фаза спада концентрации озона из-за распада O_3 в O_2 , с периодом полураспада $t_0 = 10$ минут; $T = 30$ минут – время

достижения максимальной концентрации озона в воздухе, выраженная в долях от максимально возможной.

Поскольку эффект окисления пропорционален произведению количества озона в объёме на время его воздействия на среду, равную $6t_0 = 60$ минут, то эффективное количество озона при воздействии на среду, отнесённое к интервалу в 30 минут, определяется из соотношения:

$$(4) (Q_{\text{эфф}}/Q_M) * 3t_0 = \int_0^{6t_0} q dt = 2,53 * t_0 * q/Q_M,$$

где интегрирование проведено согласно Таблице 2, поэтому:

$$Q_{\text{эфф}} = Q_M * 2,53/3 = 2 * 6,67 * 10 * 0,84 = 112 \text{ мг.}$$

(Отметим, что масса озона, выпущенного за 30 минут $Q_{30} = 6,67 * 30 = 200$ мг, и в линейном приближении $Q_{\text{эфф}} = 200/2 = 100$ мг. Эффект уменьшения массы озона за счёт его распада, совместно с эффектом роста за счёт последействия во время распада, после отключения озонатора, дают скорректированную величину 112 мг.)

Тогда требуемая эффективная концентрация озона 4 ПДК = 0,4 мг/м³ в течение 30 минут, будет достигнута в помещении объёмом:

$$112/0,4 = 280 \text{ м}^3, \text{ или площадь } 280/3 = 73 \text{ м}^2.$$

Если использовать озонатор аналогичных размеров **VILDOM M900** [5], производительностью **900** мг/час, $t_M = 30$ минут, объём обслуживаемого помещения может быть увеличен в 2,25 раз до $2,25 * 280 = 630 \text{ м}^3$, а площадь – до **210 м²**.

С учётом времени спада концентрации после отключения озонатора - от $0,78 * 2 * 66,7 / 280 = 0,78 * 2 * 66,7 / 280 = 0,37$ мг/м³, то есть от **3,7 ПДК до 0,5 ПДК**, равного $3 * 10 = 30$ минут, весь цикл очистки составит $30 + 30 = 60$ минут, то есть **1 час**, и может быть выполнен во время специального перерыва. Соответствующая схема подачи озона в часовом цикле приведена на рис.2

Другими словами, условие (4) означает равенство площадей под кривой ПДК от 0 до 60 минут и прямоугольника 4ПДК * 30 минут, см. Рис.2))

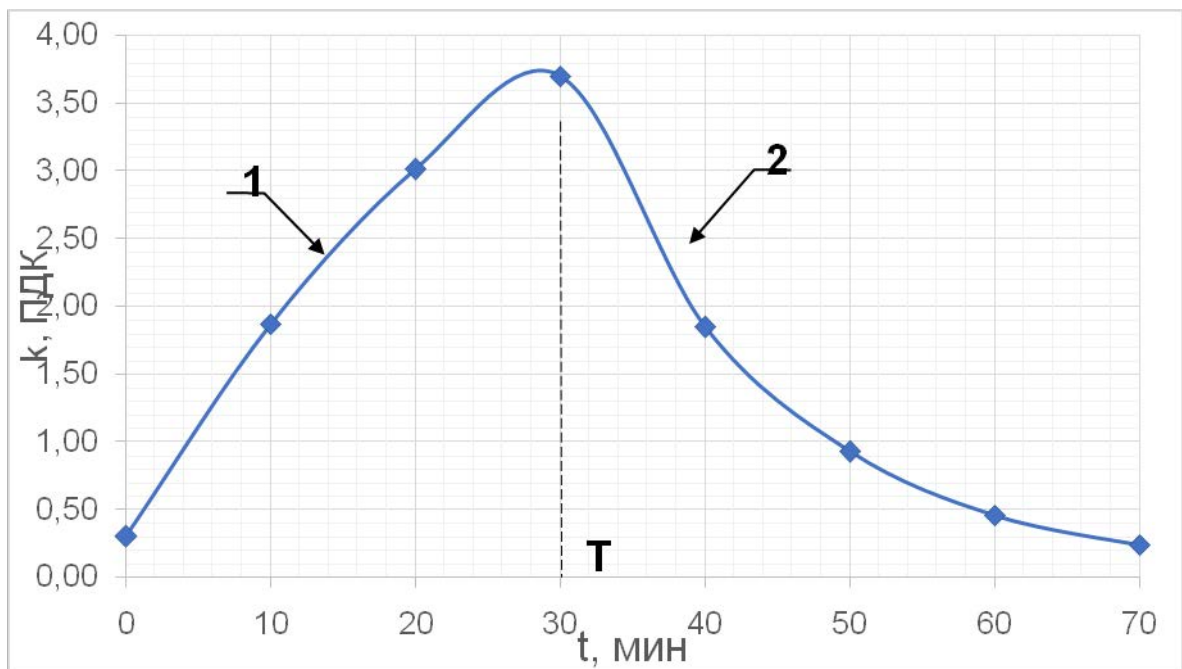


Рисунок 2. Схема создания концентрации озона в единицах ПДК.

Здесь 1 – фаза накопления озона в воздухе; 2 – фаза спада концентрации озона из-за распада O_3 в O_2 , с периодом полураспада $t_0 = 10$ минут; $T = 30$ минут – время подачи озона в помещение.

Справочно. Озонатор **GL-3188**. Вес 0,85кг, размер озонатора: 234*196*65 мм, мощность 20 Вт, 220в, 50Гц; розничная стоимость 4,5 тысячи рублей.

3.2 Очистка воздуха учебных помещений, на примере СУНЦ НГУ.

Представим школьный коридор в виде параллелепипеда сечением $20 \times 3 \text{ м}^2$ и протяжённостью 50 м, объёмом **3000 м³**, в котором нужно создать предельную концентрацию 3,7ПДК, т.е. $0,37 \text{ мг/м}^3$, в часовом цикле, согласно Рис.2. Тогда для реализации этого потребуется или $3000/280=11$ озонаторов типа **GL-3188**, или $3000/630=5$ озонаторов типа **VILDOM M900**.

Для реализации схемы очистки удобно было бы собрать две сборки по 3 озонатора VILDOM M900, устанавливаемых с двух сторон коридора. Размер сборки 2×2 : $2 \times 27 = 54$ см шириной и $2 \times 19 = 38$ см высотой, глубиной 7 см, весом $3 \times 0,9 = 2,7$ кг что вполне удобно для размещения. Розничная стоимость комплекта: $6 \times 8,9 = 53,4$ тысячи рублей, потребляемая мощность $6 \times 10 = 60$ Вт. Такой комплект озонаторов, способен **инактивировать гриппозные вирусы** в коридоре и связанных с ним боковых помещениях **в часовом цикле рис.1**, после чего в эти помещения могут вернуться люди.

Простейшим признаком доступа в помещение является **отсутствие запаха**, что свидетельствует о концентрации озона менее **0,3 ПДК**, что характерно для её величины на открытом чистом воздухе. Последовательно перемещая сборку по всем четырём этажам общежития, можно завершить обеззараживание воздуха в одном корпусе за 4 часа днём. Для второго корпуса общежития потребуется вторая сборка. В учебном корпусе очистку можно проводить в ночное время, двумя комплектами ($2 \times 6 = 12$ озонаторов), за два часа.

3.3 Очистка воздуха на станциях метро.

Представляя станцию метро в виде прямоугольного параллелепипеда со стороной 10м и длиной 100м, получим характерную величину её объёма $V = 10^4 \text{ м}^3$.

Тогда для очистки воздуха потребуется $10000/630 = 16$ озонаторов **VILDOM M900**

С учётом размеров озонатора: 270*190*70 мм, агрегаты могут быть собраны, например, в 4 ряда по 4 штуки (всего 16 ячеек) на панели высотой **800 мм и шириной 1100 мм, толщиной 70 мм**, весом $16 * 0,9 = 15$ кг, и дополнена кабелем для подключения к обычной электросети, с потреблением мощности $10 * 16 = 160$ Вт. Розничная стоимость набора составит **$8,9 * 16 = 142,4$** тысячи рублей.

В дневное время можно было бы применить передвижные маломощные озонирующие сборки, установленные на поездах метро и вырабатывающие концентрацию озона не более 2-3 ПДК за 30 минут. Поезда, следующие с интервалом 5 минут при стоянке 1 минута, могут поддерживать безопасную концентрацию озона, меньше 1 ПДК, на станциях и перегонах, создавая постоянный, долговременный эффект обеззараживания воздуха.

Очевидно, возможны и другие варианты.

Сконструировать, изготовить и испытать такой агрегат, со схемой измерения концентрации озона в воздухе, возможно, например, в институтах СО РАН (ИГ, ИХКиГ), или в фирмах-производителях озонаторов. Возможны и самостоятельные действия, поскольку разрешение на применение бытовых озонаторов имеется.

Ввиду своей оперативности, простоты и доступности оборудования, данный метод очистки воздуха и поверхностей применим и для других помещений с большим посещением людей.

4. Плюс кварцевые рециркуляторы.

Очевидно, что в учебных помещениях СУНЦ НГУ полезно было бы применить кварцевые рециркуляторы, которые могли бы поддерживать чистоту воздуха во время занятий, в присутствии школьников, в предварительно очищенном озонированием помещении. Для небольших аудиторий площадью 20-25 м² и объёмом 60-75 м³ достаточно использовать компактные рециркуляторы производительностью 30 м³ в час, [6], что позволит в течение обычной школьной пары, то есть за два часа, повторно очистить весь объём воздуха классной комнаты. Этим требованиям соответствует, например, бытовой рециркулятор СН111-115 розничной стоимостью 3,5 тысячи рублей, что соответствует затратам около 70 тысяч рублей на этаж учебного корпуса. Для больших аудиторий применима модель СН211-115, удвоенной мощности 60 м³ в час, розничной стоимостью 5 тысяч рублей, [6]. Значит, для обеспечения рециркуляторами всех четырёх этажей учебного корпуса, потребуется около $4 * 70 = 280$ тысяч рублей.

Примерно такие же расходы потребуются и для оснащения рециркуляторами каждого из двух корпусов общежитий СУНЦ НГУ. Тогда основные расходы на рециркуляторы составят, суммарно, около $3 * 280 = 840$ тысяч рублей.

С учётом затрат на блоки озонаторов, полные расходы на очистку учебных и жилых помещений СУНЦ НГУ составят около $840 + 4 * 53,4 = 1054$ тысячи рублей.

Установка рециркуляторов в помещениях с людьми рекомендована СанПин 2.2.2/2.4.1340-03,

Такой комплексный вариант позволит вести преподавание в СУНЦ НГУ на **контактной основе**, более эффективной и простой в реализации, чем дистанционное

обучение, к тому же требующее для своей реализации немалых средств для дозакупки элементов вычислительной техники преподавателями и учащимися.

Аналогичный подход - **озонирование плюс рециркуляторное кварцевание**, необходим и для обеспечения безопасной работы в **продуктовых магазинах, в ВУЗах, школах, больницах, детских и иных учреждениях** с большим посещением людей, а также в **общественном транспорте**. Даже его частичная реализация может принести значительный эффект.

Литература.

1. Санация воздуха помещений озоном.
<http://dialog-lab.com/sanaciya-vozduxa-pomeshhenij/>
2. <https://mysku.ru/blog/china-stores/55719.html>
3. [Ozone in indoor environments: concentration and chemistry, см Поисковик.](#)

4. Озонатор бытовой, GL-3188, сборка РФ, см. поисковик.
5. Озонатор бытовой, VILDOM M900, сборка РФ, см. поисковик.
6. <https://www.kp.ru/guide/kvartsevanie.html> , Рециркуляторы ТМ «Армед» для дома.