

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ТРУБОПРОВОДОВ ОЗОНОМ

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

Проводится расчет динамических характеристик озонирования трубопроводов в зависимости от их диаметра и протяженности на примере математической модели, и даются рекомендации по выбору типа озонаторов.

Для транспортирования продуктов в условиях производства в пищевой, медицинской промышленности в настоящее время широко применяются трубопроводы, выполненные из различных материалов, имеющие разные диаметры и протяженность. По технологической необходимости в целях обеззараживания эти трубопроводы периодически подвергаются различного типа реагентной химической или термической обработке с применением пара. Указанные способы обеззараживания требуют много времени, наличие реагентного хозяйства либо громоздкую паровую установку. К тому же эти способы обеззараживания не достаточно надежны.

Еще в 1874 году создатель первой российской школы гигиенистов профессор А. П. Доброславин предложил использовать озон как лучшее средство для обеззараживания воздуха от патогенной микрофлоры. Позднее, в 1886 году, Н. К. Келдыш изучил бактерицидное действие озона и пришел к выводу, что озонирование является наилучшим методом дезинфекции помещения с целью улучшения гигиенического состояния воздуха.

Озон, будучи метастабильной аллотропической модификацией кислорода, обладает сильнейшими окислительными свойствами. Его окислительный потенциал намного превосходит потенциал иных окислителей, таких как хлор, перекись водорода и т.д. Действие озона на различные виды и формы микрофлоры, одноклеточные организмы по своему механизму одинаково и сводится к разрушению мембран и поверхностного слоя протоплазмы клеток. Тем не менее, различные формы микроорганизмов проявляют неодинаковую озоностойкость. Установлено [1], что вирус гриппа более чувствителен к озону, чем стафилококк. При 60-минутной обработке для инактивации гриппозного вируса требуется озона всего лишь 0,0002 мг/л, тогда как для разрушения стафилококка – не менее 0,001 мг/л.

Наряду с бактерицидным и вирусоцидным действием озон способен разрушать и различные виды плесневых грибов, дрожжей и водорослей. Определено, что концентрации озона ниже 0,003 мг/л не оказывают влияния на плесневые грибки, концентрации 0,03 мг/л угнетают процессы их размножения и роста, концен-

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

трации до 1,5 мг/л разрушают вегетативные формы и концентрации озона до 20 мг/л разрушают споры грибов.

Озон оказывает губительное действие на простейшие и даже многоклеточные организмы. Так, в концентрации 2 мг/л озон губительно действует на амебы и жидкокристаллические формы многоклеточных организмов.

Цель настоящей работы состоит в проведении расчета динамических характеристик озонирования трубопроводов в зависимости от их диаметра и протяженности. Озон, как правило, синтезируется специальными приборами – озонаторами в высоковольтном барьерном разряде из кислорода, находящегося в атмосферном воздухе, либо из чистого кислорода.

Развитие технологии обработки озоном не только трубопроводов, но и емкостей, а также воды, промышленных стоков и т. д. долго сдерживалось отсутствием малогабаритных, простых в обращении и надежных озонаторов. В настоящее время такие озонаторы разработаны и появились на рынке продаж. Одно из предприятий, производящих малогабаритные озонаторы, – ООО «НПО Пульсар» (г.Красноярск). Для проведения расчетов в качестве исходных данных принимались технические характеристики озонаторов, выпускаемых этим предприятием (табл. 1).

Схема обработки озоном трубопроводов приведена на рис. 1.

Таблица 1

Характеристики озонаторов типа «Озон-ПВ»

Тип озонатора	Исходное сырье для получения озона	Концентрация озона, C , г/м ³	Расход газа, Q , м ³ /ч	Производительность A , г/ч
«Озон-5ПВ»	Воздух	15	0,5	7,5
	Кислород	50	0,5	25,0
«Озон-20ПВ»	Воздух	15	1,5	22,5
	Кислород	50	1,5	75,0

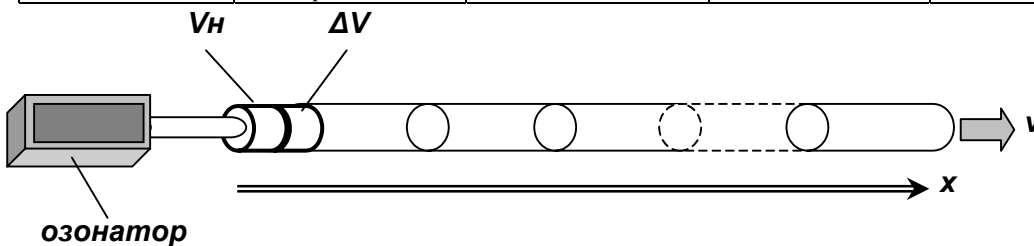


Рис. 1. Схема озонирования трубопровода

Исходные параметры для создания модели следующие:

V_n , м³ – малый объем начального участка трубопровода, в котором происходит мгновенное идеальное смешение газа; таким образом, допускаем, что концентрация озона в выходном потоке из этого объема равна концентрации его в самом объеме;

M_n , кг – общая масса газа в объеме V_n ;

Q , м³/ч – поток газового слоя через объем V_n ;

m_0 , кг/ч – массовый поток озона на выходе озонатора;

m_1 , кг/ч – массовый поток озона на выходе объема V_n ;

T , с – период полураспада озона ($T=300$ сек [2]);

$\lambda=0,693/T$, 1/с – константа распада озона в нормальных условиях [2];

c , кг/м³ – концентрация озона на выходе озонатора.

Соответствующее дифференциальное уравнение для массы озона в объеме V_n имеет следующий вид:

$$\frac{dM_n}{dt} = m_0 - m_1 - \lambda M_n. \quad (1)$$

Так как в первом приближении концентрация озона в потоке, выходящем из объема, равна его концентрации внутри этого объема, то можно записать

$$\frac{m_1}{Q} = \frac{M_n}{V_n},$$

откуда

$$m_1 = \frac{M_n}{V_n} Q. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) и переходя к параметру концентрации $c_0 = \frac{M_n}{V_n}$, получим

$$\frac{dc_0}{dt} = \frac{m_0}{V_n} - \left(\frac{Q}{V_n} + \lambda \right) c_0. \quad (3)$$

Соответствующее решение примет вид:

$$c_0(t) = \frac{m_0}{V_n \lambda} (1 - e^{-\lambda_1 t}), \quad \text{где } \lambda_1 = \frac{Q}{V_n} + \lambda. \quad (4)$$

Исходная концентрация озона в начале трубопровода рассчитывается по формуле (4). Скорость продвижения элементарного объема газа в трубопроводе равна $v = \frac{4Q}{\pi D^2}$, где D – диаметр трубопровода. Будем рассчитывать процесс переноса озонгазовой смеси в режиме идеального вытеснения, полагая, что изменение концентрации озона в движущемся элементарном объеме ΔV описывается уравнением

$$c = c_0 e^{-\lambda \tau(x)},$$

где $\tau(x)$ – время, в течение которого данный объем движется от начала трубопровода до заданной точки трубы x , т.е. $\tau = x/v$. Тогда окончательно концентрация озона в заданной точке трубы определяется следующим уравнением:

$$c(x) = c_0 e^{-\lambda \frac{\pi D^2 x}{4Q}}. \quad (6)$$

На основании выше указанных формул и технических характеристик озонаторов «Озон-5ПВ» и «Озон-20ПВ», приведенных в табл. 1, произведены расчеты распределения концентрации озона по трубопроводам. Расчеты производились для различных диаметров трубопроводов (0,05 м; 0,1 м; 0,2 м; 0,3 м; 0,4 м; 0,5 м), а также для двух режимов озонаторов: на осушенном воздухе и на воздухе, обогащенном кислородом до 85...90 объемных процентов. Результаты расчетов даны на рис. 2 – 5.

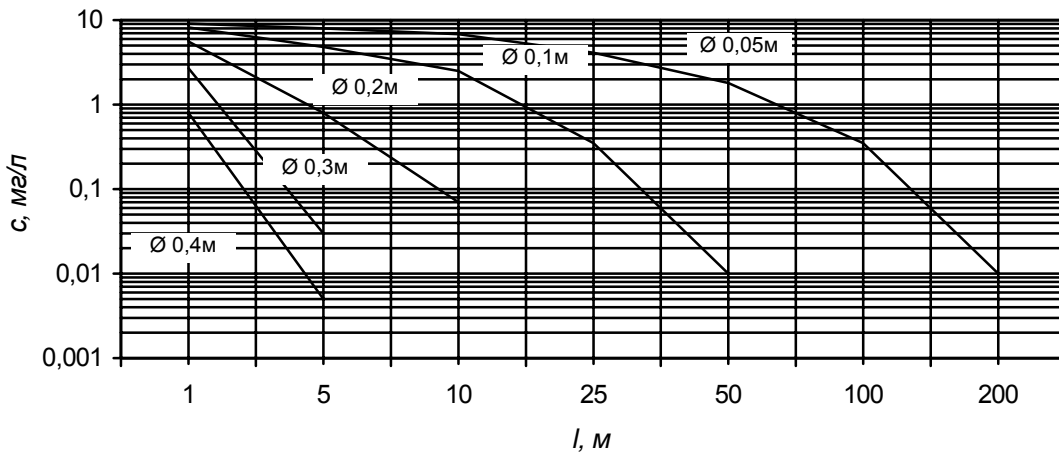


Рис. 2. Распределение концентрации озона для различных диаметров трубопроводов (озонатор «Озон-5ПВ» работает на воздухе)

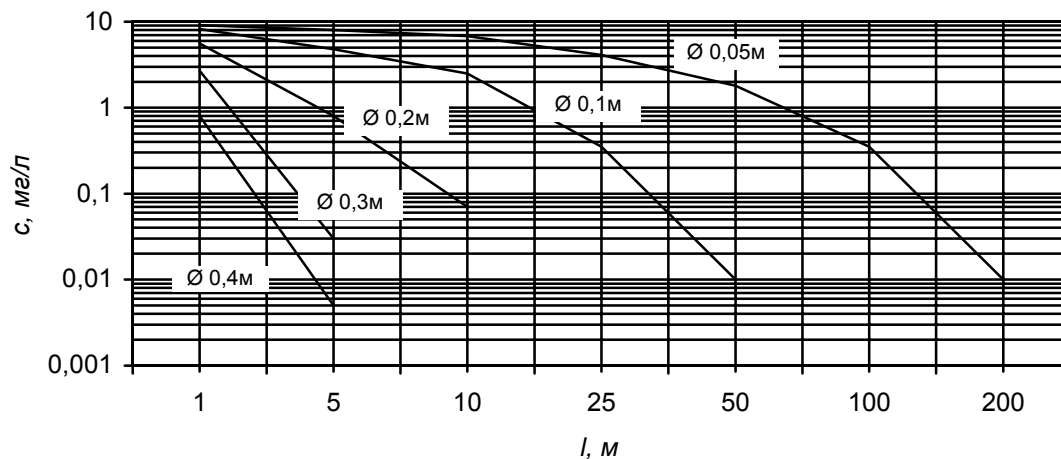


Рис. 3. Распределение концентрации озона для различных диаметров трубопроводов (озонатор «Озон-5ПВ» работает на кислороде)

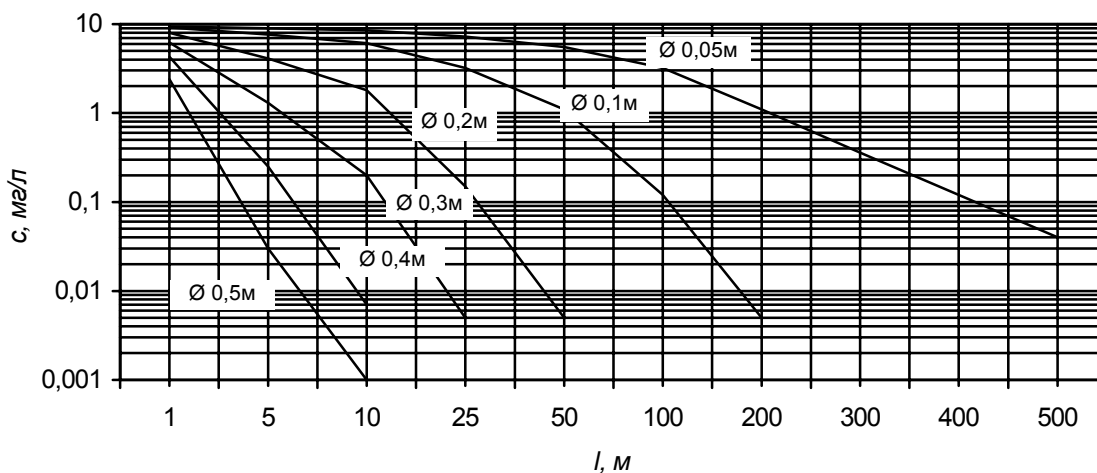


Рис. 4. Распределение концентрации озона для различных диаметров трубопроводов (озонатор «Озон-20ПВ» работает на воздухе)

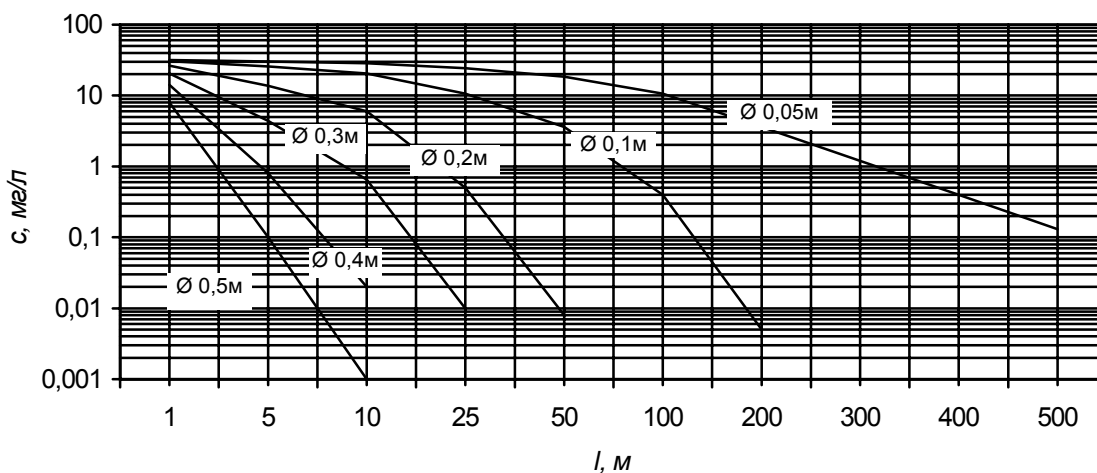


Рис. 5. Распределение концентрации озона для различных диаметров трубопроводов (озонатор «Озон-20ПВ» работает на кислороде)

Зная априори необходимую концентрацию озона и экспозицию для микрофлоры, находящейся в трубопроводе, его длину и диаметр, по приведенным выше графикам легко выбрать нужный тип озонатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривопишин Н.П. Озон в промышленном птицеводстве / Н.П. Кривопишин. – М: Росагропромиздат, 1998.-125 с.
2. 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.

DETERMINATION OF OPTIMUM MODES OF PROCESSING OF PIPELINES BY AN OZONE

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

The account of dynamic characteristics of ozonization of pipelines is carried out (conducted) depending on their diameter and expansion on an example of a mathematical model, and the recommendations are given at the choice of a type the systems for ozonization.