

03;10;12

## Очистка воздуха от паров акролеина наносекундным пучком электронов

© Ю.Н. Новоселов, И.Е. Филатов

Институт электрофизики УО РАН, Екатеринбург

Поступило в Редакцию 16 февраля 1998 г.

Представлены результаты экспериментального исследования разложения малых количеств акролеина в воздухе, облучаемом импульсным электронным пучком. Показано, что уменьшение концентрации примеси в зависимости от введенной в газ энергии удовлетворительно аппроксимируется экспоненциальным законом. Получено эмпирическое выражение, позволяющее прогнозировать величину энергетических затрат при заданных начальной концентрации акролеина и требуемой степени очистки.

Многие производства органического синтеза, а также изготовление различного рода изделий на основе применения пластических масс сопровождаются вентиляционными выбросами воздуха, загрязненного парами летучих органических соединений (ЛОС). Для очистки выбросов от этих токсичных примесей разработаны технологии, основанные на химических методах. Исследования, проведенные в последнее время, показали высокую эффективность использования непрерывных электронных пучков для удаления различных токсичных примесей из воздушных смесей (см., например, [1,2]). Было также показано, что в ряде случаев применение импульсных пучков позволяет по сравнению с непрерывными значительно снизить затраты энергии на реализацию электрофизического метода очистки [3,4]. Целью настоящей работы являлось изучение процесса удаления ЛОС из воздуха с помощью импульсного пучка электронов.

В качестве объекта исследований был выбран акролеин ( $\text{CH}_2 = \text{CHCOH}$ ) как одно из наиболее распространенных и токсичных ЛОС. Для проведения опытов использовалась установка на основе ускорителя РАДАН [5], описанная в [4]. Ускоритель генерировал электронный пучок с энергией электронов 180 keV, током пучка 800 А на выходном окне сечением  $1 \text{ cm}^2$ , длительностью импульса 5 ns и частотой следования импульсов до  $10 \text{ s}^{-1}$ . За один импульс в исследуемый

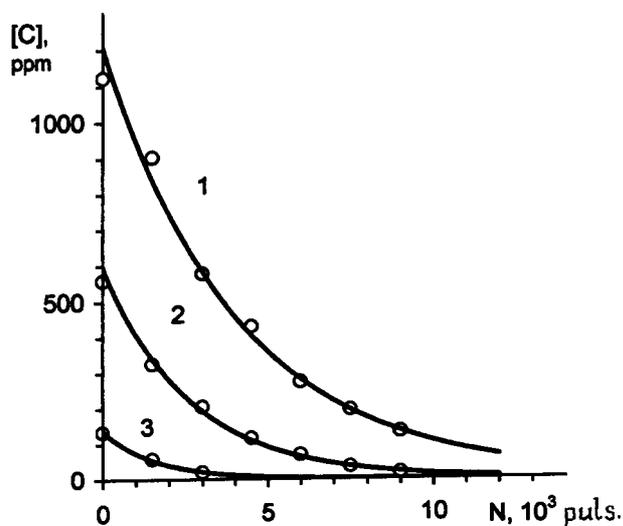
газовый объем вводилась энергия  $4.2 \cdot 10^{-3}$  J, при этом 90% энергии поглощалось в объеме  $4 \text{ м}^3$  (пробег электронов в газе был ограничен и составлял 1 см). Модельная смесь помещалась в газовую камеру общим объемом 31, в которой с помощью встроенного вентилятора моделировался газовый поток через облучаемый промежуток. Скорость потока составляла 0.5 м/с. Облучаемый объем модельной смеси равномерно смешивался с остальным объемом газа и по циклу вновь направлялся на обработку. Используемая схема позволяет моделировать многоступенчатую очистку.

В опытах использовалась модельная смесь азота и кислорода в соотношении  $\text{N}_2 : \text{O}_2 = 80 : 20$  при атмосферном давлении и комнатной температуре, концентрация паров акролеина изменялась от 100 до 1000 ppm (количество молекул примеси на  $10^6$  молекул основного газа). Облучение исследуемой смеси проводилось сериями по 1500 импульсов. Измерение концентрации примеси осуществлялось как до облучения, так и в конце каждой серии импульсов отбором проб смеси. Далее акролеин поглощался в адсорбционной трубке и экстрагировался гексаном, готовый препарат анализировался методом жидкостной хроматографии с использованием УФ детектора на длине волны 208 nm. Погрешность определения концентрации акролеина не превышала 7% в диапазоне содержания примеси 100–1000 ppm и 15% в диапазоне 10–100 ppm.

При проведении экспериментов оказалось, что уменьшение концентрации примеси  $[C]$  с ростом количества импульсов облучения  $N$ , то есть энергии, введенной в объем, носит явно экспоненциальный характер (рис. 1). На основе полученных зависимостей определялась величина затрат энергии на удаление одной токсичной молекулы  $\varepsilon$  (eV/molec). Эта величина позволяет определить энергетическую эффективность процесса очистки воздуха от паров акролеина, экспериментально она рассчитывалась аналогично [4]:

$$\varepsilon = Wn/e\Delta[C]. \quad (1)$$

Здесь  $W$  — энергия пучка, поглощенная газом за один импульс,  $\Delta[C]$  — изменение концентрации паров акролеина за серию импульсов облучения,  $n$  — количество импульсов в серии облучения,  $e$  — заряд электрона. Оказалось, что значение параметра  $\varepsilon$  зависит от начальной концентрации примеси и изменяется в пределах от 3 до 10 eV/molec. при изменении начальной концентрации от 1100 до 100 ppm.



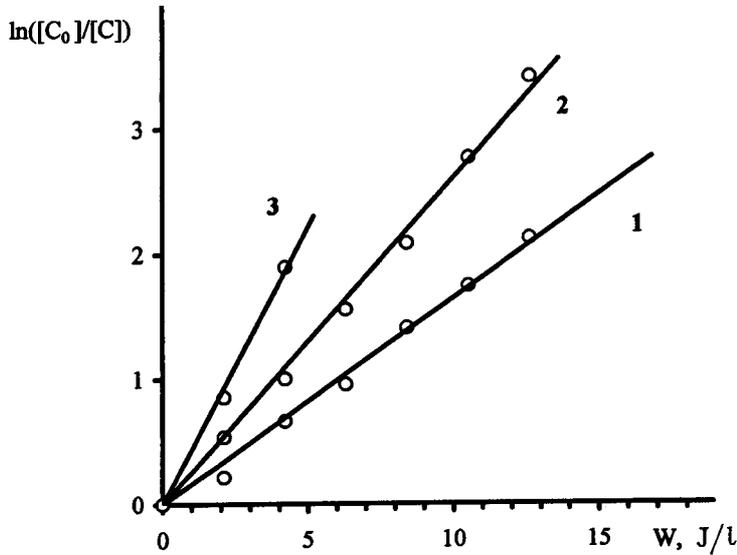
**Рис. 1.** Зависимости концентрации акролеина  $[C]$  от числа импульсов облучения  $N$  для различных начальных концентраций: 1 — 1100 ppm, 2 — 550, 3 — 220.

На рис. 2 представлены зависимости логарифма отношения начальной концентрации акролеина  $[C_0]$  к текущей  $[C]$  —  $\ln([C_0]/[C])$  от суммарной энергии, введенной в газ  $W$ , при различных  $[C_0]$ . Все эти зависимости имеют вид прямых, угол наклона которых определяется величиной начальной концентрации. Из увеличения угла наклона зависимостей рис. 2 следует также, что с уменьшением концентрации  $[C_0]$  степень очистки газа от примеси, определяемая как  $\eta = ([C_0] - [C])/[C_0]$ , при одинаковом энергокладе возрастает.

Опыты показали, что экспоненциальный закон хорошо описывает изменение концентрации примеси при увеличении степени очистки вплоть до 90%. Учитывая линейность зависимостей на рис. 2, можно предположить, что процесс удаления акролеина в наших условиях подчиняется макрокинетическому уравнению с первым порядком по концентрации примеси:

$$d[C]/dN = -k[C], \quad (2)$$

где  $k$  — некоторая константа, имеющая соответствующую размерность. Поскольку введенная в газ энергия  $W$  пропорциональна количеству



**Рис. 2.** Зависимости  $\ln([C_0]/[C])$  от удельной энергии  $W$ , введенной в газ, при начальных концентрациях: 1 — 1100 ppm, 2 — 550, 3 — 220.

импульсов облучения  $N$ , из наклона прямых на рис. 2 можно вычислить константу  $K$ :  $\ln([C_0]/[C]) = W/K$ . Величина  $K$  характеризует эффективность удаления акролеина из воздуха и имеет физический смысл энергии, которую необходимо ввести в единицу объема обрабатываемого воздуха, чтобы концентрация акролеина уменьшилась в  $e = 2.718 \dots$  раз. Для зависимостей 1–3 на рис. 2 значения  $K$  составляют соответственно 6.1, 3.84 и 2.23 J/l.

Величина затрат энергии на удаление одной токсичной молекулы  $\varepsilon$  в нашем случае удовлетворительно аппроксимируется уравнением, которое аналитически выводится из условия первого макрокинетического порядка процесса (2):

$$\varepsilon = A \cdot K \cdot \ln(1 - \eta)^{-1} / [C_0] \cdot \eta, \quad (3)$$

где  $A$  — константа перевода размерностей, равная  $235.5 \text{ (eV} \cdot \text{l} \cdot \text{ppm)} / \text{J}$ . В соответствии с (3) при начальных концентрациях  $[C_0] = 1000, 500$  и  $100 \text{ ppm}$  и при степени очистки 80% ( $\eta = 0.8$ ) значения  $\varepsilon$  составят

2.9, 3.9 и 10.4 eV/moles соответственно. Рассчитанные по формуле (3) затраты энергии отличаются от экспериментально определенных по (1) на 10–15%. Таким образом, полученные данные позволяют прогнозировать величину энергетических затрат при заданных начальной концентрации акролеина и требуемой степени очистки, что является важным при проектировании и создании реальных очистных установок.

Процесс уменьшения концентрации акролеина в ионизованном воздухе связан с генерацией электронным пучком различного сорта активных частиц, в том числе атомарного кислорода и озона. Вопрос о реальном механизме разложения акролеина и конкретных плазмохимических реакциях, приводящих к его разрушению, требует специального исследования. Обращает внимание то, что процесс удаления акролеина зависит от его начальной концентрации. Возможно, это связано с участием в процессе промежуточных продуктов разложения примеси.

## Список литературы

- [1] *Валуев А.А., Каклюгин А.С., Норман Г.Э.* и др. // Теплофизика высоких температур. 1990. Т. 28. В. 5. С. 995–1008.
- [2] *Neau E.L.* // IEEE Transaction on plasma science. 1994. V. 22. N 1. P. 2–10.
- [3] *Kusnetsov D.L., Meayats G.A., Novoselov Yu.N.* // In Proc.: Novel Appl. of Lasers and Pulsed Power. 1995. San Jose, USA. P. 142–146.
- [4] *Кузнецов Д.Л., Месяц Г.А., Новоселов Ю.Н.* // Теплофизика высоких температур. 1996. Т. 34. № 6. С. 845–852.
- [5] *Ельчанинов А.С., Котов А.С., Шпак В.Г.* и др. // Электронная техника. Сер. 4. 1987. В. 2. С. 33–37.