



**УДК 544.557: 547.216**

**Ю.П. ХОЛМОВОЙ**, канд. хим. наук, доцент

Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА), г. Краматорск

## ДЕСТРУКЦИЯ ПАРОВ ГЕКСАНА В ПЛАЗМЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

На основании экспериментально полученной вольт-амперной характеристики разрядника Сименса определен интервал напряжений возникновения и существования самостоятельного барьерного разряда. Проведено экспериментальное изучение поведения смеси паров гексана с воздухом в плазме барьерного разряда. Установлено, что при напряжении 23 кВ степень деструкции гексана достигает 80 %. Сделан вывод о возможности использования барьерного разряда в качестве метода очистки выбросов в атмосферу от паров органических растворителей.

**Ключевые слова:** гексан, барьерный разряд, разрядник Сименса.

Барьерный разряд используется в промышленности пока преимущественно для электросинтеза озона  $O_3$ , способного благодаря своей высокой активности вступать во взаимодействие со многими веществами [1]. Однако в последнее время все больше внимания уделяется изучению химических превращений различных веществ в плазме под действием электронного удара. В частности, исследован процесс конверсии метана (в отсутствие кислорода воздуха), в результате которого получен ацетилен с небольшим количеством других высших углеводородов [2]. Метан – газообразный углеводород. Его гомологи – жидкие углеводороды – входят в состав растворителей, которые находят широкое применение в машиностроении [3], лакокрасочной промышленности и лакокрасочном производстве [4]. Если энергии электронного удара достаточно для ионизации такой довольно прочной молекулы, как  $CH_4$  (потенциал ее ионизации составляет 12,99 эВ [5]), то для ионизации более крупных и менее прочных молекул углеводородов ее также должно хватать. Таким образом, можно предположить, что в плазме барьерного разряда углеводороды в присутствии кислорода воздуха (потенциал ионизации  $O_2$  – 14,01 эВ [5]) под действием электронного удара и озона, образующегося в той же плазме, будут подвергаться деструкции. Целью настоящей работы является экспериментальная проверка этого предположения и определение принципиальной возможности использования плазмы барьерного разряда для очистки выбросов в атмосферу от паров органических растворителей.

Прежде всего необходимо выбрать один из углеводородов. Некоторые физические характеристики ряда нормальных (неразветвленных) насыщенных углеводородов, находящихся в жидком агрегатном состоянии при нормальных условиях, представлены в табл. 1 [5]. Из нее видно, что приведенные углеводороды имеют почти одинаковые потенциалы ионизации, которые, как и ожидалось, ниже, чем у метана.

**Таблица 1 – Физические характеристики нормальных насыщенных углеводородов**

Углеводород	Формула	$t_{кип}, ^\circ C$ [6]	Давление насыщенного пара, кПа	Потенциал ионизации, эВ
Пентан	$C_5H_{12}$	36,07	56,54	10,37
Гексан	$C_6H_{14}$	68,74	18,48	10,17
Гептан	$C_7H_{16}$	98,43	4,72	10,06
Октан	$C_8H_{18}$	124,67	1,40	9,86
Нонан	$C_9H_{20}$	150,8	0,42	10,21
Декан	$C_{10}H_{22}$	174,0	0,13	10,19

Однако низкая температура кипения пентана и высокое давление его насыщенных паров, так же как и высокие температуры кипения и низкие значения давления насыщенных паров у соединений  $C_8$ – $C_{10}$ , делают выбор данных углеводородов для проведения эксперимента нерациональным. Из двух оставшихся соединений –  $C_6H_{14}$  и  $C_7H_{16}$  – гексан предпочтительнее, так как он является более распространенным растворителем, чем гептан. Кроме того, он обладает хорошей и в то же время не чрезмерно высокой летучестью, позволяющей ему оставаться в жидком агрегатном состоянии даже при повышенной температуре, что очень важно с точки зрения техники эксперимента. По этим причинам для проведения эксперимента в качестве углеводорода был выбран гексан  $C_6H_{14}$ .

Газовая линия была организована следующим образом: воздух из баллона с постоянной скоростью подавался через термостатированный (20 °C) барботер (поглотитель Рихтера) с гексаном в термостатированный разрядник типа трубки Сименса [7], на выходе из которого отбирались пробы для контроля процесса. Заканчивалась газовая линия хлоркальциевой трубкой (с колотым кирпичом фракции 2–3 мм), предназначенной для нейтрализации озона и предотвращения его попадания в атмосферу помещения [8]. Скорость подачи воздуха устанавливалась с помощью пенного расходомера (вентилем тонкой регулировки баллона с воздухом).

Используемый разрядник Сименса был изготовлен из молибденового стекла «Пирекс» толщиной 2 мм; диаметр внутреннего (высоковольтного) электрода – 18 мм; газовый зазор между электродами – 2 мм; длина газового зазора – 300 мм. Для электропитания этого разрядника служил высоковольтный трансформатор НОМ-10. Напряжение на разряднике регулировали киловольтметром С-96, а силу тока – миллиамперметром Т-217.

Содержание гексана в пробах контролировали методом газожидкостной хроматографии с помощью хроматографа ЛХМ-80МД с пламенно-ионизационным детектором (генератор водорода СГС-2, расход водорода – 30 мл/мин, расход воздуха – 300 мл/мин). Хроматографическая колонка из нержавеющей стали длиной 3 м и диаметром 3 мм была заполнена инертном N-AW (зернение – 0,20–0,25 мм) с  $\beta$ ,  $\beta'$ -оксидипропионитрилом (25 % от массы носителя). Температура термостата колонок достигала 120 °C, испарителя – 150 °C. В качестве газа-носителя применялся аргон (расход 30 мл/мин). Для построения градуировки использовали гексан марки «для хроматографии». Объем анализируемой пробы газа (из разрядника Симпсона) – 1 мл. При таких условиях время удерживания гексана составляло 80 с. Определение озона проводили по методике [9], при этом из-за его высоких



концентраций в газовом потоке время барботаж газa через поглотительный сосуд установили равным 15 с.

Как известно, работа электрохимических устройств графически отображается вольт-амперной характеристикой, которая представляет собой зависимость тока от напряжения. Статическая вольт-амперная характеристика используемого нами разрядника показала, что переход к самостоятельному разряду происходит при напряжении около 10 кВ (рис. 1).

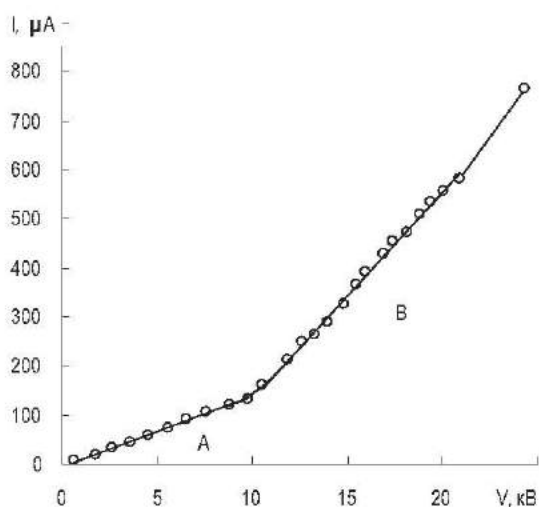


Рисунок 1 – Статическая вольт-амперная характеристика разрядника Сименса:

А и В – зоны несамостоятельного и самостоятельного разрядов соответственно

Аналогичный характер имеет зависимость выхода озона (в отсутствие гексана в газовой смеси) от напряжения, представленная на рис. 2: генерация озона начинается при напряжении более 10 кВ. В верхней части вольт-амперной характеристики (около 25 кВ) наблюдается некоторое отклонение от линейности, которое может указывать на приближение пробоя разрядника, поэтому в дальнейших исследованиях мы старались эту величину не превышать.

При выбранных условиях содержание гексана в газовой смеси с ростом напряжения (от 10 кВ) уменьшается (рис. 3а), что свидетельствует о деструкции углеводорода, максимальная степень которой достигает 80 % (рис. 3б).

Для практической реализации метода барьерного разряда необходимо установить оптимальные параметры процесса деструкции паров углеводородов, в частности гексана, и соединений других классов, которые используются в составе растворителей, изучить образование возможных побочных продуктов и выработать меры по их минимизации или нейтрализации. Далее предстоит определить тип (многослойный плоскопарал-

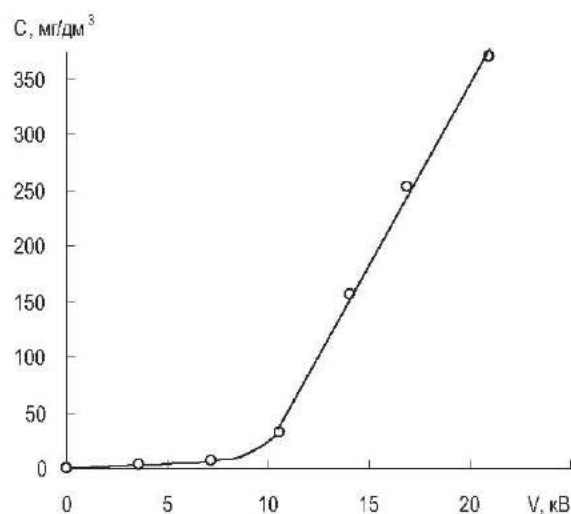


Рисунок 2 – Зависимость выхода озона от напряжения

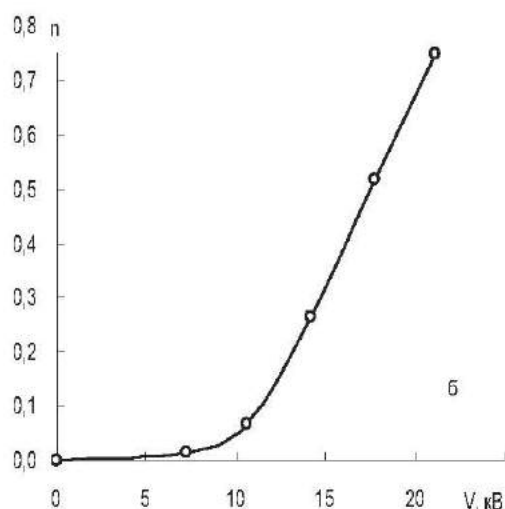
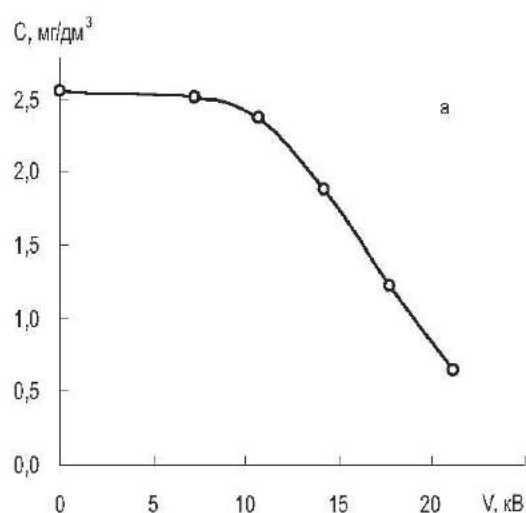


Рисунок 3 – Зависимости концентрации гексана в газовой смеси (а) и степени его деструкции (б) от напряжения

лельный, цилиндрический коаксиальный либо «улитка») и характеристики разрядника и другого оборудования. После этого можно создавать опытную установку и проводить ее испытания.

### ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные показывают, что в плазме барьерного разряда при напряжении 23 кВ гексан подвергается деструкции примерно на 80 %. Это позволяет предположить, что обработка в барьерном разряде воздуха, загрязненного парами органических растворителей, может применяться в качестве метода очистки выбросов в атмосферу.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетики и механизм). – М.: Наука, 1974. – 322 с.
2. Yun Yang. Direct Non-oxidative Methane Conversion by Non-thermal Plasma: Experimental Study // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2003. – Vol. 23. – N 2. – P. 283–296.
3. Бедрик Б.Г., Чулков П.В., Калашников С.Н. Растворители и составы для очистки машин и механизмов : справ. изд. – М.: Химия, 1989. – 176 с.
4. Дринберг С.А., Ицко Э.Ф. Растворители для лакокрасочных материалов : справ. пособ. – Л.: Химия, 1986. – 208 с.
5. Справочник химика : Том 1. – М.-Л.: Химия, 1966. – 1072 с.
6. Справочник химика : Том 2. – М.-Л.: Химия, 1965. – 1168 с.
7. Воронина В.И. Влияние параметров барьерного разряда на электросинтез озона : дис. ... канд. физ.-мат. наук : спец. 02.00.04 «Физическая химия» / Воронина Валерия Ивановна ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет. – М., 1986. – 170 с.
8. Сабитова Л.В. Разложение озона на катализаторах окисного типа и некоторых природных материалах : дис. ... канд. хим. наук : спец. 02.00.04 «Физическая химия» / Сабитова Людмила Вячеславовна ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет. – М., 1987. – 179 с.
9. Перегуд Е.А., Гернет Е.В. Химический анализ воздуха промышленных предприятий. – М.: Химия, 1965. – 363 с.

*Поступила в редакцию 13.11.2013*

На підставі експериментально отриманої вольт-амперної характеристики розрядника Сіменса визначено інтервал напруг виникнення та існування самостійного бар'єрного розряду. Проведена експериментальне вивчення поведінки суміші парів гексану з повітрям у плазмі бар'єрного розряду. Встановлено, що за напруги 23 кВ ступінь деструкції гексану досягає 80%. Зроблено висновок про можливість використання бар'єрного розряду як методу очищення викидів в атмосферу від парів органічних розчинників.

Based on experimentally obtained current-voltage characteristics of Siemens' arrester it was defined interval of stresses for emergence and existence of independent barrier discharge. Experimental study of behavior of mixture of hexane vapors with air in barrier discharge plasma was made. It is found that degree of destruction of hexane reaches 80% at voltage of 23 kV. One be concluded that it is possible to use barrier discharge as method of emission cleaning from organic solvent vapors.