

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ВОЛН ИОНИЗАЦИИ

В.С. Каекин, Д.В. Мешалкин, В.К. Семенов

Ивановский энергетический университет, г. Иваново



Экспериментально исследованы электрические и тепловые характеристики разработанных в Ивановском энергетическом университете разрядных элементов плазмохимических реакторов на основе фронтальных волн ионизации. Реакторы могут быть использованы как для очистки отходящих газов от вредных газообразных примесей, так и для синтеза озона из атмосферного воздуха.

На рубеже третьего тысячелетия резко увеличились масштабы потребления энергии, следствием чего явилось увеличение антропогенного воздействия на природу. Самыми распространенными соединениями, выбрасываемыми в атмосферу, являются оксиды серы и азота, монооксид углерода, углеводороды и твердые взвешенные частицы. Существующие технологические процессы улавливания, нейтрализации и утилизации этих веществ, базирующиеся на химических, сорбционных и каталитических способах обезвреживания, являются высокочрезвычайно затратными. В последние годы ведутся интенсивные исследования по поиску и разработке новых, более эффективных, технологий. Здесь надежды связывают с химией высоких энергий, в частности, с плазмохимией. Уже созданы лабораторные и полупромышленные плазмохимические реакторы на основе импульсной короны [1]. Не менее перспективным является применение газового разряда на основе высокоскоростных волн ионизации, распространяющихся с субсветовыми скоростями. Однако работы этого направления находятся еще в стадии теоретических разработок [1]. В Ивановском энергетическом университете разработаны лабораторные установки плазмохимических реакторов на основе скоростных волн ионизации умеренного диапазона [2]. Этот тип разряда представляет собой однородную стримерную корону, в которой распространение разряда от одного электрода к другому происходит за счет специально организованного переходного процесса в виде фронтальной волны ионизации со скоростью порядка 10^7 см/с [3]. Наличие на фронте волны сильных электрических полей и высокоэнергетичных электронов позволяет осуществлять ионизацию и возбуждение молекул газа без заметного их разогрева. Высокая однородность и высокая скорость заполнения разрядного промежутка химически активной плазмой позволяют рассматривать этот тип разряда как новый, весьма перспективный способ активации газов в плазмохимических реакторах различного назначения.

© В.С. Каекин, Д.В. Мешалкин, В.К. Семенов, 2000

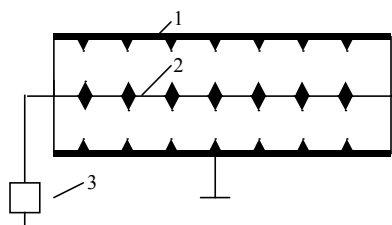


Рис.1. Схема реактора: 1 - заземленный иницирующий электрод; 2 - высоковольтный электрод; 3 - источник питания

Объектами исследования были лабораторные модели реакторов цилиндрического и прямоугольного сечений.

Первая модель (рис.1) представляла собой цилиндрический газоразрядный элемент с длиной активной зоны 700 мм и диаметром проходного сечения 320 мм. Центральный "поджигающий" высоковольтный электрод 2 подключался к отрицательному полюсу источника высокого напряжения постоянного тока 3, тогда как наружный электрод 1, иницирующий волны ионизации, был заземленным. Фронтальные волны ионизации создавались системой с двойным разрядом, имеющей специальную конструкцию заземленного анода [3].

Второй моделью являлся двухканальный элемент с подачей газа вдоль электродов. Принципиальная схема реактора аналогична представленной на рис.1. Длина активной зоны равнялась 700 мм, проходное сечение - 300×300 мм². Центральный отрицательный высоковольтный "поджигающий" электрод был двухстороннего действия, а наружные электроды - аноды, иницирующие волны ионизации - соединялись с землей. Боковые стенки аппарата были выполнены из прозрачного оргстекла.

Третья модель, принципиальная схема электрических соединений которой приведена на рис.2, представляла собой блок кассетных элементов с подачей газа перпендикулярно электродам, в которых для прохода газа были просверлены специальные отверстия диаметром 10 мм с шагом 20 мм. Блок содержал три кассеты высоковольтных поджигающих электродов и четыре кассеты заземленных электродов. Площадь каждого электрода - 300×300 мм², межэлектродное расстояние 110 мм.

Для получения сформированного потока каждый из испытуемых аппаратов включался в середину газопровода, полная длина газового тракта которого вместе с аппаратом составляла 3 м. Экспериментальные исследования выполнены с использованием атмосферного воздуха, который подавался при помощи вентилятора с последующим выбросом в атмосферу. Расход воздуха регулировался задвижкой, поставленной в вытяжном канале. Во всех экспериментах определялись удельная мощность, введенная в активную зону реактора, профиль скоростей и температур на выходе реактора, концентрация озона и зависимость температуры газа вблизи стенки реактора от продольной координаты. Электрическое питание разрядных элементов осуществлялось от генератора постоянного тока мощностью 10 кВт с регулируемым напряжением до 150 кВ. Удельная мощность, представляющая собой отношение потребляемой электрической мощности реактора к объему активной зоны, определялась по вольтамперной характеристике: напряжение измерялось при помощи киловольтметра и шарового разрядника, а ток - при помощи миллиамперметра, включенного в цепь заземленных электродов. Температура и расход газа определялись при помощи датчиков, имеющих выход на термоанемометр. Абсолютная погрешность измерений составляла 0,1 °С. Измерения концентрации озона производились стандартным методом ультрафиолетовой спектроскопии с точностью 0.1 мг/м³.

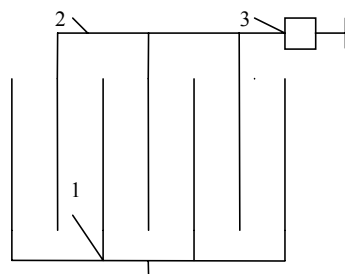


Рис.2. Схема электродных соединений кассетного реактора: 1- группа катодов; 2 - группа анодов; 3 - источник питания

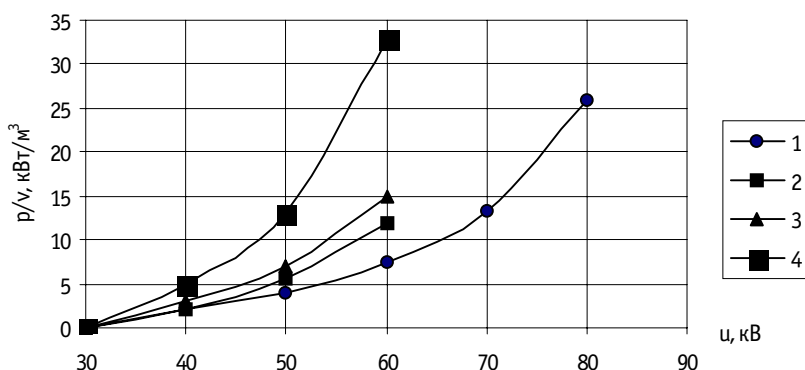


Рис. 3. Зависимость удельной мощности от напряжения: 1 - в цилиндрическом реакторе, 2 - в продольном двухканальном реакторе, 3 - в трехкассетном, 4 - в однокассетном

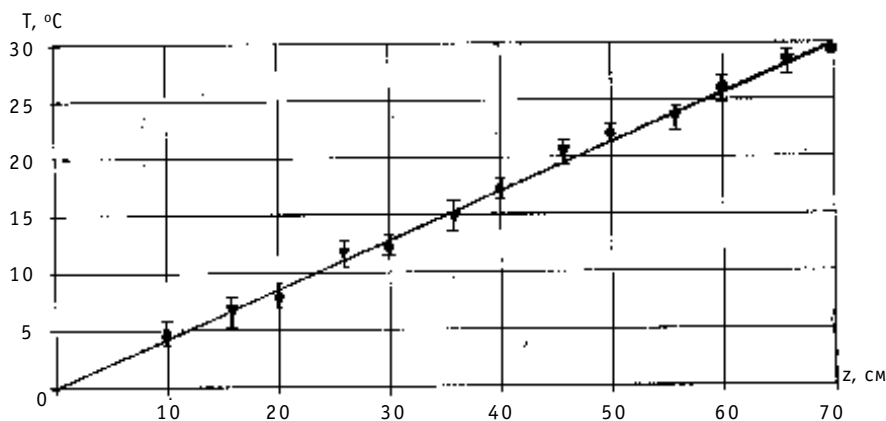


Рис. 4. Зависимость перепада температуры от продольной длины реактора

Некоторые результаты эксперимента показаны на рис. 3-5. Зависимости удельной мощности, подведенной к активной зоне реактора, от приложенного напряжения представлены на рис. 3. Полученные экспериментальные зависимости показывают, что энергетические характеристики разрабатываемых нами реакторов укладываются в диапазон соответствующих характеристик реакторов импульсной стримерной короны. Однако наши реакторы выгодно отличаются от последних более полным заполнением объема реактора химически активной плазмой и более простыми и надежными в эксплуатации источниками питания. Питание реакторов фронтальных волн ионизации осуществляется от высоковольтных источников постоянного тока, тогда как питание реакторов импульсной короны осуществляется от высоковольтных кабельных генераторов наносекундного диапазона, надежность эксплуатации которых весьма проблематична [1].

Зависимость перепада температуры между входом в реактор и точкой наблюдения от продольной координаты активной зоны для цилиндрического и кассетного реакторов при расходе воздуха, равном $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$, и удельной мощности, равной $30 \text{ кВт}/\text{м}^3$, представлены на рис. 4. Результаты эксперимента подтверждают установленный ранее теоретически линейный закон роста температуры в зависимости от продольной координаты реактора [4]. Согласно этому закону угол наклона прямых для всех реакторов с адиабатическими стенками при одинаковых удельных энерговкладах в разряд и одинаковых расходах газа должен быть одинаков. Результаты эксперимента позволяют использовать установленный закон для расчета кинетики плазмохимических реакций в пространственно неоднородной среде реактора.

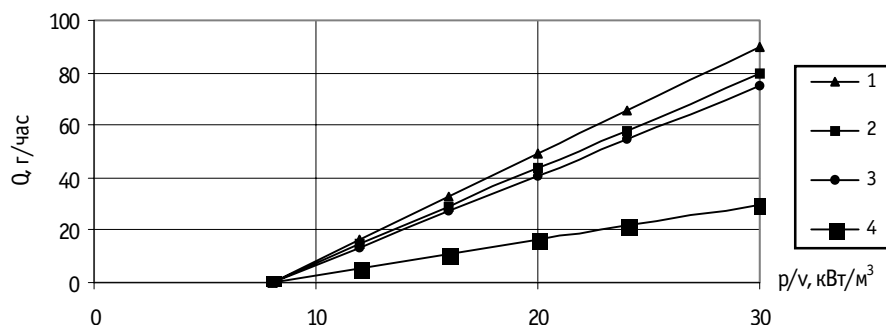


Рис. 5. Зависимость производительности по озону от удельной мощности реактора: 1 - цилиндрический реактор, 2 - продольный двухканальный реактор, 3 - трехкаскадный, 4 - однокаскадный

По результатам измерения концентрации озона и вольтамперных характеристик на рис. 5 построены расчетные графики зависимости производительности указанных реакторов по озону, полученному из атмосферного воздуха, от удельной мощности разряда при одинаковом для всех реакторов расходе воздуха, равном $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$, и удельной мощности, равной $30 \text{ кВт}/\text{м}^3$.

Поскольку линейный закон роста производительности установлен для всех конструкций, то можно сказать, что этот закон в большей степени обусловлен типом разряда, тогда как угол наклона, а стало быть, и абсолютное значение производительности, определяются конструкцией аппарата. Следует заметить, что обычные генераторы озона (барьерные озонаторы) требуют принудительного водяного охлаждения и предварительного обеспыливания и осушки воздуха путем его охлаждения до -50°C . Стоимость аппаратного оформления этого процесса составляет порядка 80% от стоимости всей установки.

При одинаковом с барьерными озонаторами удельном выходе озона (порядка $60 \text{ г}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$) наши реакторы, имеющие более простую и более надежную по сравнению с барьерными озонаторами конструкцию и не требующие никакой предварительной подготовки воздуха, являются сравнительно недорогими аппаратами. Однако предлагаемые нами реакторы, ориентированные, в первую очередь, на применение в системах газоочистки, не могут применяться в технологических процессах, требующих высококонцентрированного озона. Имея межэлектродное расстояние порядка 10-20 см, они позволяют получать озонозоодушную смесь со сравнительно невысокой концентрацией озона (до $1 \text{ г}/\text{м}^3$), тогда как барьерные озонаторы, имеющие на два порядка меньшее межэлектродное расстояние (1-2 мм), позволяют получать концентрации озона порядка $50 \text{ г}/\text{м}^3$.

Литература

1. Валуев А.А., Каклюгин А.С., Норман Г.Э. и др. Радиационно-плазмохимические методы очистки дымовых газов // ТВТ. - 1990. - Т.28. - №5. - С.995-1008.
2. Семенов В.К. Озонаторы-реакторы факельной короны // Проблемы энергосбережения. - 1994. - № 2-3. - С. 89-94.
3. Семенов В.К. К теории факельной короны // Электричество. - 1997. - №6. - С.19-22.
4. Семенов В.К. К вопросу теплообмена в вертикальных каналах газоразрядных аппаратов // ТВТ. - 1998. - №3, т.36. - С.503-507.

Поступила в редакцию 29.11.99.

УДК 620.93

Experimental Research of Plasm-chemical Reactors Based on Frontal Ionization Waves \V.S. Kayokin, D.V. Meshalkin, V.K. Semyenov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2000. – 4 pages, 5 illustrations. – References, 4 titles.

Electric and thermal characteristics of discharge elements of plasm-chemical reactors based on frontal ionization waves, developed in the Ivanovo State Power University are investigated experimentally. The reactors can be utilised both for elimination of harmful-gaseous admixtures from exhaust gas mixtures, and for synthesis of ozone from free air.

УДК 532.526.4:621.039.533.34

Determination of Consumption Using Maximal Velocity and Pressure Overfall \E.F. Avdeev, V.V. Bol'shunova, A.V. Vinogradov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2000. – 6 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.

A new method is suggested for determination of the consumption during turbulent flow in pipes. The method is based on measured values of the maximal velocity and pressure overfall of the flow. Using four different classical velocity distributions identical as to the structure, formula for the consumption was obtained and its geometrical interpretation is given. The relation of maximal and average velocities is defined more accurately and it is confirmed experimentally that the consumption can be determined using the method of successive approximations on the base of measured maximal velocity alone.

УДК 621.039.586 : 536.42

Model of Melten Fuel Relocation and Solidification in Undercore Channels During Fast Reactor Severe Accident \G.N. Vlasichev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2000. – 10 pages, 5 illustrations. – References, 11 titles.

The model is developed for the relocation and solidification of melted fuel in the pass of coolant channels of lower blanket under severe accident with the core meltdown. The model incorporates models of thermal conductivity and volumetric solidification and takes into account the narrowing of a channel and increase of relocating melt viscosity. The dynamics of changes both of the solidcrust thickness in a channel and the depth of channel material meltthrough is considered within the frames of the model. Numerical results consistent with experimental data is obtained as to the length of penetration of aluminium oxide melt into quartz pipes of different diameter in relation to the THEFIS experiment condictions.

УДК 621.039.59

Burning of Plutonium in System of VVER and BN reactors with Its Recycling \A.V. Petrov, S.G. Usynina, V.A. Chirkov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2000. – 5 pages, 5 illustrations, 1 table. – References, 6 titles.

Different schemes of plutonium circulation in VVER and BN reactors are considered in the paper. Variants of plutonium circulation and burning in the closed fuel cycle according to the separate scheme (reactor of each type utilizes only its own plutonium) and in the symbiotic VVER- BN system are investigated. It is shown that multiple usage of plutonium is the most effective in a system of reactors of different type. Presence of fast reactors in the system allows to improve utilization of plutonium in thermal reactors.

УДК 51-72:621.039.526

Failures of reactor runaway. The elementary models and regularities \N.M. Kadjuri; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2000. – 7 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The temporal behaviour of the fast reactor power when introducing the reactivity with high rates (up to 50 β/c) is considered. It is shown that the energy release during an outburst is proportional