

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

УДК 621.357.2.035.4 (088.8)

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ФТОРА

Н.П. Курин, Б.Ф. Шашкин, В.М. Беляев, М.М. Минин, А.Б. Свиридов,  
С.Н. Ложкомоев, Б.О. Дуйсебаев, Ю.Ф. Кобзарь\*, Ю.Я. Томаш\*, В.П. Столбов\*

*Томский политехнический университет,  
\*Сибирский химический комбинат*

В работе представлен обзор экспериментальных исследований по интенсификации производства элементарного фтора электролизом расплава  $KF \cdot nHF$  за счет использования принудительной циркуляции электролита. Приведена краткая история работы над проблемой, принципиальные схемы испытанных конструкций в лабораторных и промышленных условиях и их основные показатели. Перечислены выполненные исследования по изучению физико-химических свойств расплава  $KF \cdot nHF$ , отсутствующих в научно – технической литературе, по изучению механизма электродных процессов, протекающих при электролизе системы  $KF \cdot nHF$ , по коррозии конструкционных материалов и способам их защиты в расплаве  $KF \cdot nHF$  и другим связанным с данной проблемой вопросам. Приведен список работ, опубликованных в открытой печати.

Работа по интенсификации производства элементарного фтора на кафедре химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов физико-технического факультета ТПУ была начата в 1965 г. Проблема интенсификации этого производства возникла в связи с тем, что развиваемые в сублиматном производстве методы прямого фторирования окислов урана требовали резкого увеличения расхода элементарного фтора с одновременным снижением его себестоимости. Используемые же в промышленности фторные электролизеры имели недостатки, связанные главным образом с примитивностью их конструкции, которая практически была близка к конструкции электролизеров, созданных в период между первой и второй мировыми войнами в Германии. Основными недостатками используемых фторных электролизеров были низкая плотность тока на электродах ( $0,1 \text{ A/cm}^2$ ), небольшой выход по току (80-90 %) и высокий удельный расход электроэнергии на единицу получаемой продукции (18-19 кВт·ч/кг). Перечисленные недостатки были связаны с тем, что конструкция электролизеров не позволяла увеличить скорость движения электролита относительно электродов, что определяло скорость процессов массопередачи и теплопередачи, ограничивающих величину плотности тока, и приводило к существенному газонаполнению электролита в межэлектродном пространстве, которое увеличивало его сопротивление и, следовательно, расход электроэнергии.

С целью комплексного устранения указанных недостатков Н.П. Куриным в 1965 г., сразу после IV отраслевой конференции по сублиматному производству, где была особо подчеркнута необходимость совершенствования технологии и оборудования для производства фтора, была выдвинута идея резкой интенсификации процесса электролиза путем его проведения с использованием принудительной циркуляции электролита. К концу 1966 г. Н.П. Куриным, Б.Ф. Шашкиным, Г.П. Хандориним и А.С. Пятыгиным была выполнена технико-экономическая оценка перспективности предложенного способа электролиза расплава  $KF \cdot nHF$ , и на кафедре 43 были

начаты научно-исследовательские работы, финансируемые Сибирским химическим комбинатом.

Первый отчет о НИР по данной проблеме был опубликован в 1968 г. Основные результаты выполненной работы заключались в том, что разработанная конструкция лабораторного диафрагменного электролизера с принудительной циркуляцией электролита, рис. 1, позволила проводить электролиз расплава  $KF \cdot nHF$  при плотностях тока от  $0,5$  до  $1,0 \text{ A/cm}^2$  как в среднетемпературном, так и в высокотемпературном режимах.

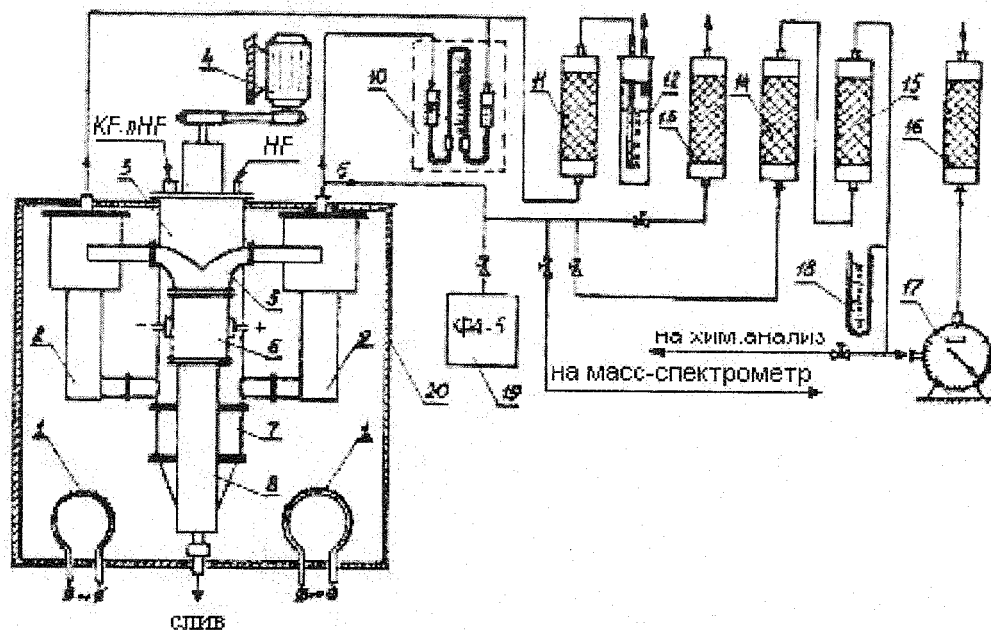


Рис. 1. Схема лабораторного электролизера с принудительной циркуляцией электролита  
 1 – электронагреватели; 2 – газоделиитель катодный; 3 – смеситель; 4 – электродвигатель;  
 5 – патрубки выходные; 6 – ячейка электролизная; 7 – насос; 8 – патрубок выходной;  
 9 – газоделиитель анодный; 10 – дифманометр; 11-16 – колонки с реактивами;  
 17 – счётчик объёма газа; 18 – манометр; 19 – прибор; 20 – термостат

Применение диафрагм и принудительной циркуляции электролита позволило снизить газонаполнение и значительно уменьшить межэлектродное расстояние. Однако стабильность процесса электролиза из-за низкой скорости движения электролита ( $4,6-26,0 \text{ см/с}$ ) оказалась недостаточно удовлетворительной, что выражалось в заметной пульсации плотности тока. Кроме этого были выявлены недостатки в конструкции электролизера, ограничивавшие длительность непрерывной работы. Тем не менее на основании этих опытов была предложена принципиальная технологическая схема осуществления процесса и даны рекомендации для дальнейших исследований. Результаты следующих лабораторных исследований были опубликованы в 1971 г. Опыты проводились в среднетемпературном режиме на усовершенствованной установке с конструкцией электролизной ячейки, изображенной на рис. 2, и более мощным насосом, которые позволили расширить интервал плотности тока длительного электролиза до  $2,3 \text{ A/cm}^2$  за счет увеличения скорости движения электролита относительно электродов до  $2,8 \text{ м/с}$ .

Работа на лабораторной установке включала в себя заполнение ее свежеприготовленным электролитом и его отработку от влаги и примесей электролизом при плотностях тока от  $0,05$  до  $0,5 \text{ A/cm}^2$  до тех пор, пока концентрация фтора в анодном газе не достигала постоянного значения, при котором процесс электролиза считался

выведенным на стационарный режим. Содержание HF в анодном газе определялось промышленным газоанализатором ФА-5 (рис. 1, поз. 19), а содержание примесей – масс-спектроскопическими методами. Далее в стационарном режиме при длительном ведении процесса (не менее часа) при постоянной плотности тока изучалось влияние параметров электролиза на его показатели (напряжение, выход фтора по току и состав анодного газа) или при быстром подъеме плотности тока при прочих постоянных параметрах – снятие вольт-амперных характеристик электролизной ячейки. Параметры электролиза при проведении этих экспериментов варьировались в интервалах:

• плотность тока, А/см <sup>2</sup>	0,05-4,7
• скорость движения электролита относительно электродов, м/с	1,0-2,5
• содержание HF в электролите, % мас.	36,4-43,3
• температура, °С	90-135
• межэлектродное расстояние, мм	6, 10, 20, 40

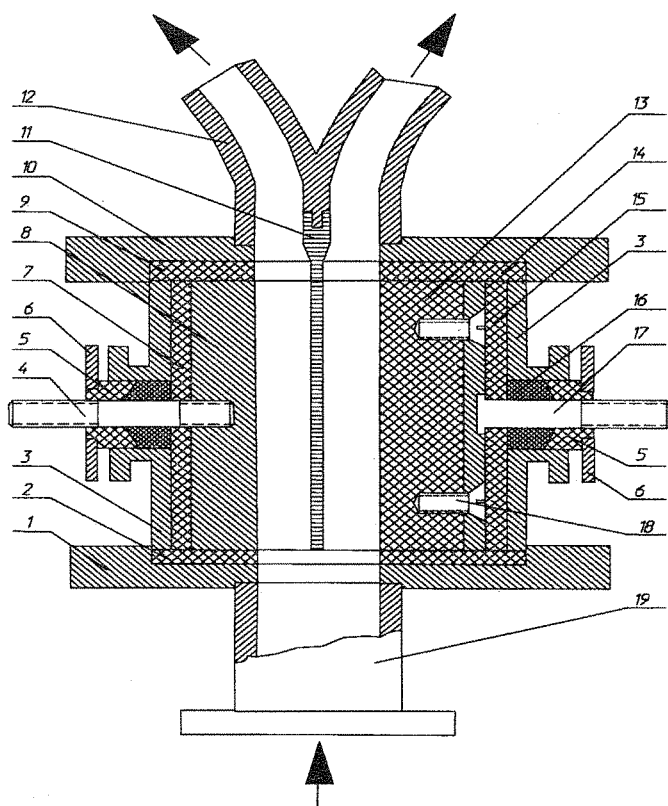


Рис. 2. Лабораторная электролизная ячейка  
 1, 10 - фланцы корпуса (нижний и верхний); 2, 7, 9, 15 - пластины фторопластовые; 3 - корпус ячейки; 4, 17 - шпильки токоподводящие (катодная и анодная); 5 - втулки сальников; 6 - фланцы сальников; 8 - катод; 11 - диафрагма; 12 - патрубки выходные; 13 - анод; 14 - пластинка токораспределительная; 16 - набивка сальниковая; 18 - винты прижимные; 19 - патрубков входной

Усредненные результаты влияния скорости движения электролита относительно электродов ( $w$ ), содержания HF в электролите ( $C_{HF}$ ), межэлектродного расстояния ( $l$ ) и температуры процесса электролиза ( $t$ ), измеряемой на входе в электролизную ячейку, на падение напряжения, измеряемого между точками крепления проводов к токоподводящим шпилькам электролизной ячейки (рис. 2, поз. 4, 17), представлены на рис. 3. Как видно, в исследованных интервалах названных параметров электролиза наибольшее влияние на напряжение оказывает изменение межэлектродного

расстояния. Далее, в порядке уменьшения влияния на напряжение, следуют температура, скорость движения электролита и содержания HF в электролите.

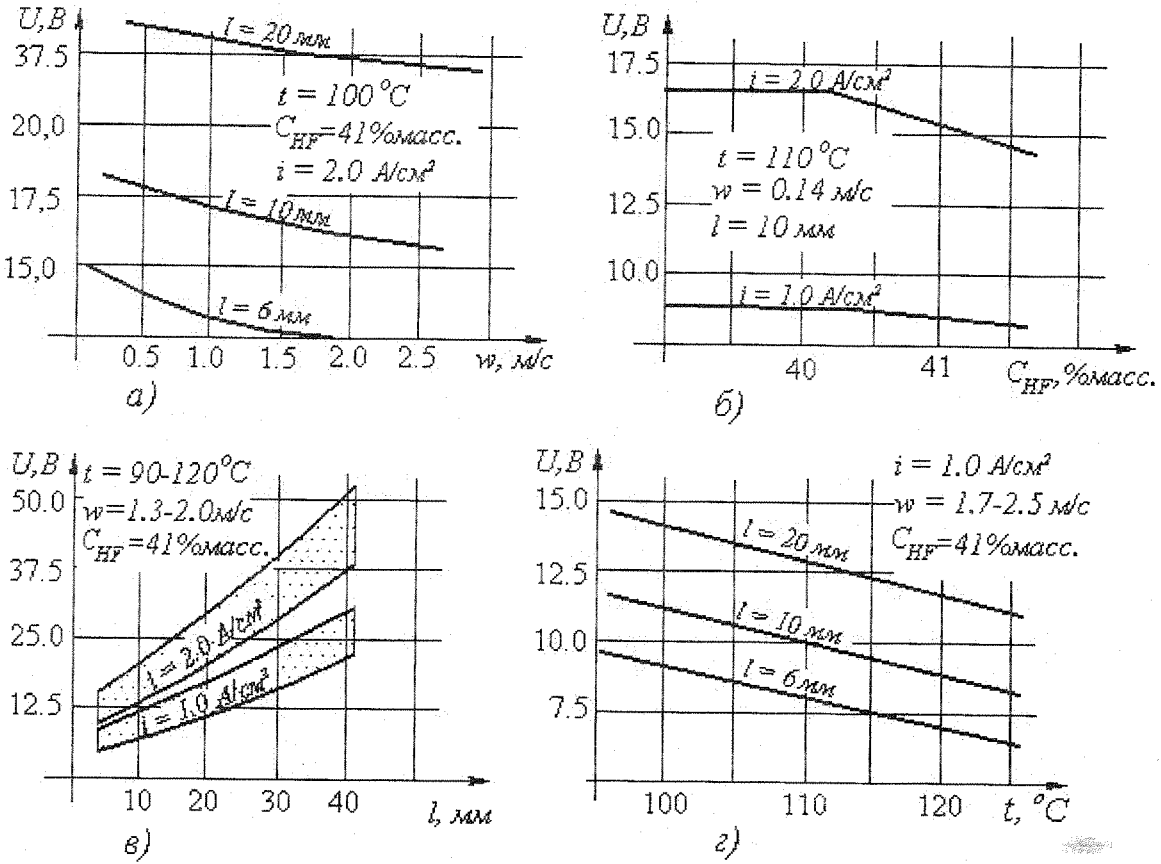


Рис. 3. Зависимость напряжения на электролизной ячейке от параметров электролиза  
 а – скорости движения электролита относительно электродов  $w$ ;  
 б – содержания HF в электролите  $C_{HF}$ ;  
 в – межэлектродного расстояния  $l$ ;  
 з – температуры процесса электролиза  $t$

Типичные вольт-амперные характеристики электролиза расплава  $KF \cdot nHF$  в среднетемпературном режиме, полученные в кратковременных опытах по снятию вольт-амперных характеристик после выхода процесса электролиза на стационарный режим, изображены на рис. 4. Как видно из этого рисунка, они, в зависимости от концентрации HF в расплаве, имеют различное положение экстремумов, которыми отображены критические плотности тока, сопровождавшиеся резко выраженным пульсирующим течением процесса с падением величины тока практически до нуля и возвратом прежнего его значения через промежуток времени не более секунды. Так, при  $C_{HF} > 38,8\% \text{ мас.}$  появление экстремумов в зависимости от параметров процесса наблюдалось в конечной части характеристик при плотностях тока  $1,5-3,5 \text{ A/cm}^2$ , а при  $C_{HF} < 38,8\% \text{ мас.}$  – в их средней части при плотностях тока  $0,08-1,5 \text{ A/cm}^2$ . Достижение критических плотностей тока в конечной части характеристик при  $C_{HF} < 38,8\% \text{ мас.}$  в исследованном интервале напряжений на электролизной ячейке от 0 до 50 В не наблюдалось.

Следует отметить, что длительный процесс электролиза протекал устойчиво при плотностях тока как минимум в 2 раза меньших критических. Однако вольт-амперные характеристики, построенные по результатам длительных опытов, практически не отличались от снятых быстрым способом.

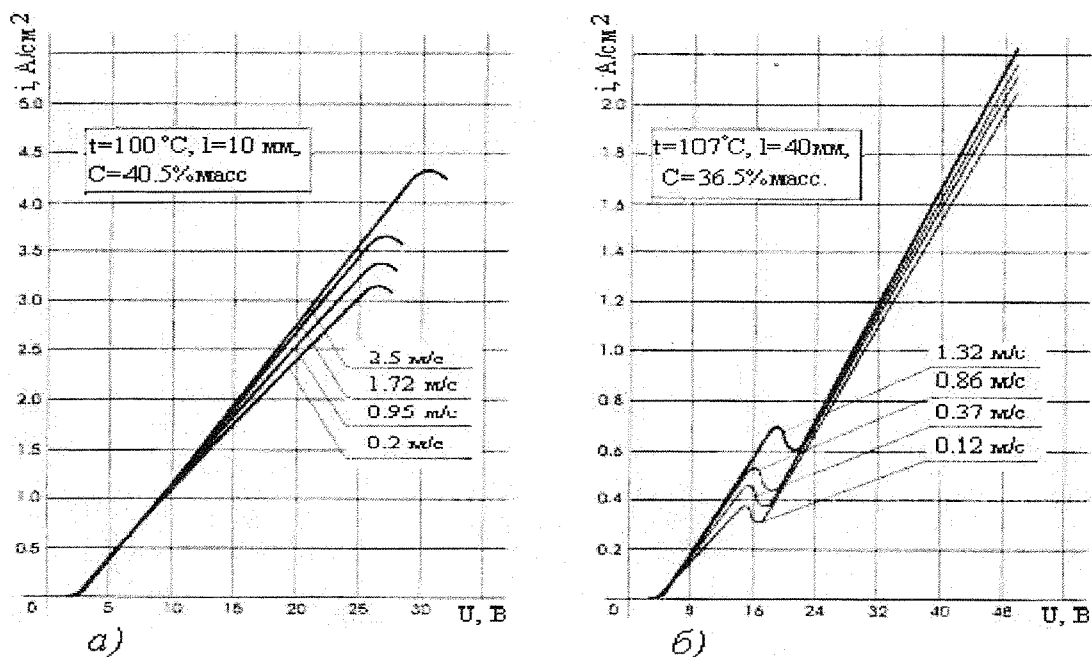


Рис. 4. Типичные зависимости плотности тока от напряжения на электролизной ячейке при различных областях состава KF-nHF

Концентрация фтора в анодном газе, очищенном от HF, в стационарном режиме электролиза изменялась от 92,0 до 99,5 % об., а выход фтора по току – от 70 до 93 %. Основное влияние на уменьшение этих показателей, как показал анализ результатов, оказывало повышение температуры процесса электролиза и загрязнение электролита примесями воды и других веществ, вносимых в начальные периоды подпитки его техническим фтористым водородом из баллонов.

В целом, лабораторные исследования показали, что использование принудительной циркуляции электролита в электролизере данной конструкции позволяет существенно уменьшить межэлектродное расстояние и получать фтор хорошего качества с такими же затратами электроэнергии, как на действующих промышленных электролизерах при плотностях тока в 10-20 раз больших.

На основании рекомендаций, выданных по данным этих исследований, был разработан проект опытно-промышленной установки на токовую нагрузку 10-30 кА. Пока шло ее изготовление и монтаж, в лаборатории кафедры были проведены исследования принудительной циркуляции электролита на процесс электролиза в высокотемпературном режиме. По результатам этих исследований, опубликованных в 1974 г., высокотемпературный режим получения фтора по сравнению со среднетемпературным режимом при одинаковом выходе по энергии имел в 1,5-2,0 раза большую интенсивность. Однако, в силу конструктивных трудностей его осуществления, от его проверки в промышленных условиях отказались.

Производственные испытания опытно-промышленного среднетемпературного фторного электролизера с принудительной циркуляцией электролита (рис. 5) были проведены в цепи действующих промышленных электролизеров СТЭ-10.

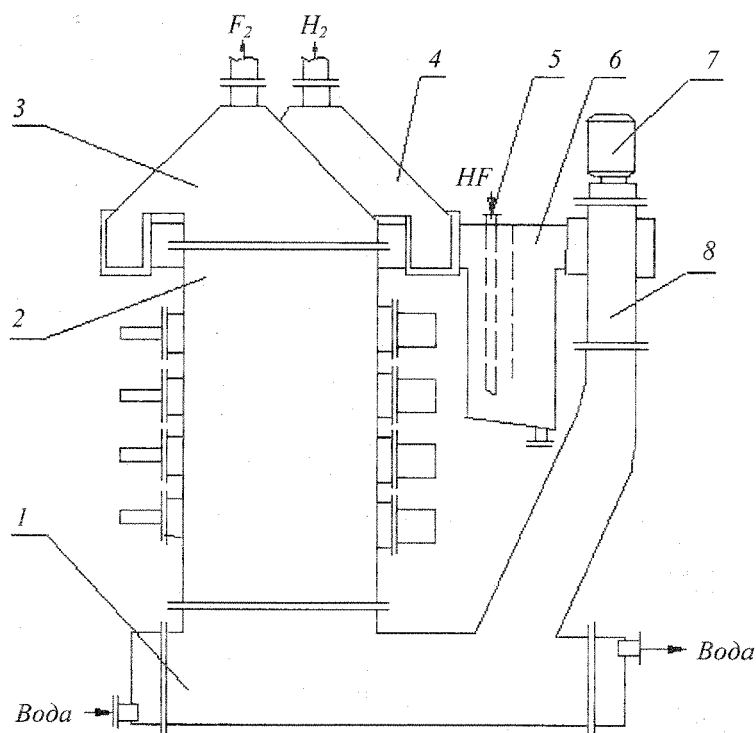


Рис. 5. Опытно-промышленный среднетемпературный электролизер

1 – теплообменник; 2 – пакет электродов; 3 – газоотделитель фтора; 4 – газоотделитель водорода; 5 – труба подпитки; 6 – коллектор электролита с гидрозатвором; 7 – электродвигатель; 8 – насос

Первый этап испытаний (1974-1975 гг.) показал, что процесс электролиза при плотности тока  $0,45 \text{ A/cm}^2$  и напряжении от 10,2 до 15,6 В протекал устойчиво, с хорошим качеством получаемого фтора. Выход фтора по току достигал 98%. Однако продолжительность непрерывной работы электролизера из-за негерметичности сварных швов и сальниковых уплотнений токоподводов, а также из-за несовершенства конструкции диафрагменного узла не превышала 280 ч. После модернизации конструкции этого электролизера и его испытаний в 1977-1978 гг. продолжительность непрерывной работы увеличилась до 570 ч. Процесс электролиза протекал устойчиво, без анодных эффектов, легко управлялся и контролировался. Средние показатели работы: состав анодного газа:  $F_2$  – 91-94 %, HF – 5-8 %; выход по току – 96 %; плотность тока  $0,45-0,9 \text{ A/cm}^2$ ; напряжение 13-17 В. Вольт-амперная характеристика этого электролизера, построенная по усредненным результатам длительных экспериментов, изображена на рис. 6.

В период производственных испытаний опытно-промышленного среднетемпературного электролизера в лаборатории кафедры были проведены исследования по разработке конструкции биполярного фторного электролизера с принудительной циркуляцией электролита с числом последовательно работающих ячеек от 2 до 15 шт. На рис. 7 изображена первая конструкция биполярного среднетемпературного электролизера с двумя ячейками, на котором была доказана возможность использования углеродных материалов для изготовления биполярных электродов фторных электролизеров, работающих при плотностях тока до  $1,75 \text{ A/cm}^2$ . В то же время его испытания выявили проблему существенных утечек тока по обходным путям, минуя биполярные электроды. Выход фтора по току при этом был тем выше, чем больше плотность тока. Так, при испытании биполярного электролизера с шестью ячейками было показано, что при увеличении плотности тока с  $0,2$  до  $1,0 \text{ A/cm}^2$  напряжение

между парой анод-катод при  $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $C_{\text{HF}} = 41-42\%$  увеличивалось с 6,2 до 12,5 В, а выход фтора по току возрастал с 82,9 до 92,5 %. Состав анодного газа, получаемого в биполярных электролизерах, оставался примерно таким же, как и в униполярных.

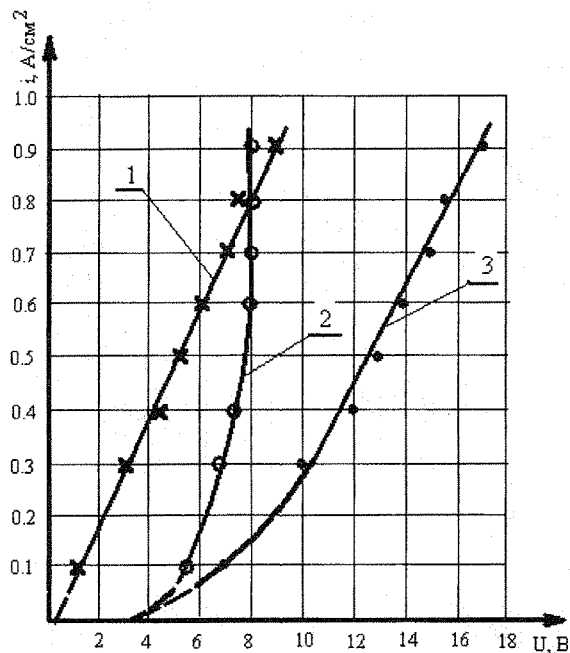


Рис. 6

Рис. 6. Вольт-амперные характеристики опытно-промышленного среднетемпературного фторного электролизера

1 – катод-диафрагма; 2 – анод-диафрагма; 3 – анод-катод

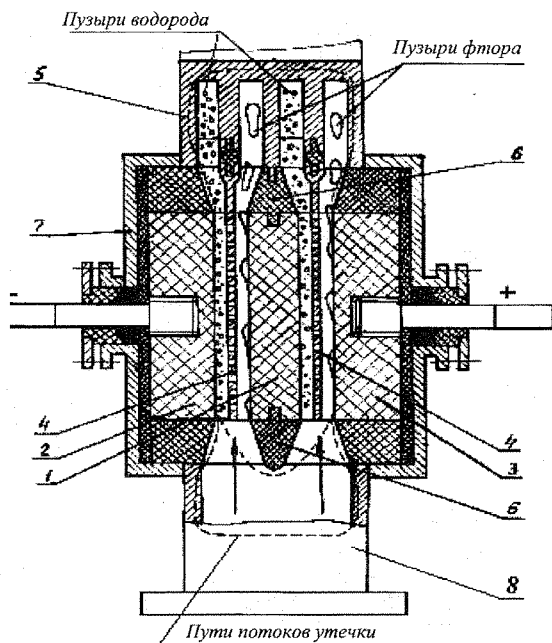


Рис. 7

Рис. 7. Лабораторный биполярный электролизер

1 – электрод биполярный; 2 – катод; 3 – анод; 4 – диафрагмы; 5 – патрубки выходные; 6 – изоляторы; 7 – корпус электролизера; 8 – крышка

Дальнейшее усовершенствование конструкции биполярного электролизера показало, что, несмотря на утечки тока, расход электроэнергии в биполярных электролизерах с принудительной циркуляцией, по сравнению с аналогичными униполярными электролизерами, может быть при определенных условиях в 1,2 – 1,5 раза меньше. В этой связи дальнейшая разработка высокоинтенсивного фторного электролизера была переориентирована на создание биполярной конструкции.

Испытания созданного на базе лабораторных исследований опытно-промышленного биполярного электролизера (рис. 8) показали, что данная конструкция сокращает расходы на подвод электроэнергии к ним и не требует переоснащения оборудования питающих их подстанций при увеличении производительности электролизера в 10 и более раз. В то же время возникли дополнительные проблемы защиты конструкционных материалов от анодного растворения. Производственные испытания опытно-промышленного биполярного электролизера в направлении совершенствования его конструкции продолжались до 1986 г. Суммарное время работы этого электролизера при токовой нагрузке 10 кА составило 2710 ч. С 1986 г. исследования по интенсификации производства элементарного фтора в связи с изменившейся экономической ситуацией проводились только в лабораторных условиях.

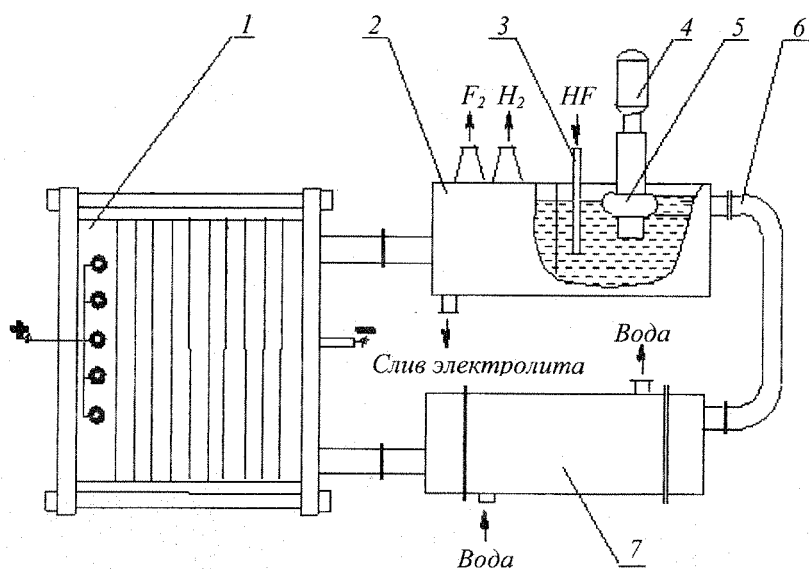


Рис. 8. Опытно-промышленный биполярный среднетемпературный электролизер  
 1 – пакет электродов; 2 – газоотделители с коллектором электролита; 3 – труба подпитки;  
 4 – электродвигатель; 5 – насос; 6 – труба соединительная; 7 – теплообменник

За весь период работы над данной проблемой в лаборатории кафедры был выполнен комплекс научных исследований по разработке физико-химических основ процесса получения фтора электролизом расплава  $KF \cdot nHF$ . Были исследованы физико-химические свойства расплава  $KF \cdot nHF$ , данные о которых отсутствуют в научнотехнической литературе (плотность, вязкость, поверхностное натяжение, электропроводность, теплоемкость, теплопроводность, растворимость фтора и водорода), изучен механизм газообразования и газовой выделения фтора и водорода на электродах, а также электродных процессов, протекающих при электролизе системы  $KF \cdot nHF$ . В частности, экспериментально измерена ЭДС электрохимической реакции разложения  $NF$ , изучена кинетика и механизм перехода заряда через двойной электрический слой, исследованы параметры электрохимической диффузионной кинетики (перенапряжения диффузии анодного и катодного процессов) и получены эмпирические уравнения предельных диффузионных токов. Определены значения коэффициентов диффузии анионов и катионов, описываемые соответствующими эмпирическими уравнениями, объемная концентрация разряжающихся ионов, толщина диффузионного слоя на аноде и катоде, энергия активации диффузионного процесса. Исследованы новые электродные материалы, изучена коррозия конструкционных материалов в расплаве  $KF \cdot nHF$ , исследованы различные способы антикоррозионной защиты диафрагм и другие вопросы. Были проведены исследования по снижению затрат электроэнергии при электролизе  $KF \cdot nHF$  за счет уменьшения падения напряжения в электролите и уменьшения перенапряжений при использовании принудительной циркуляции электролита, а также за счет развития поверхности электродов и использования питания ячеек импульсным током. На основе выполненных исследований были предложены методы снижения перенапряжений и интенсификации процесса получения элементного фтора.

В целом, по разработке высокоинтенсивного промышленного фторного электролизера с принудительной циркуляцией электролита следует отметить научную ценность и большой объем экспериментальных исследований, сопряженных со сложностью и трудоемкостью их осуществления. Практическая ценность исследований в том, что на их основе в промышленности усовершенствованы действующие фторные электролизеры путем создания условий для увеличения скорости естественной циркуляции электролита (плотность тока при этом увеличена в 2 раза), вне-



дрены рекомендации по оптимизации технологического режима и совершенствованию конструкции отдельных элементов электролизера, способствующие снижению затрат электроэнергии.

Все перечисленные лабораторные и производственные исследования по интенсификации производства фтора проводились под научным руководством Н.П. Курина и Б.Ф. Шашкина. За период работы по данной проблеме сотрудниками кафедры было защищено 4 диссертации на соискание степени кандидата наук (М.Г. Минин, В.М. Беляев, А.Б. Свиридов, Б.О. Дуйсебаев). В соавторстве с сотрудниками СХК, в числе которых Г.П. Хандорин, А.И. Карелин, Л.И. Попов, Н.С. Величко, А.Н. Качаев, Ю.Ф. Кобзарь, Ю.Я. Томаш, В.П. Столбов и другие, опубликовано 37 научно-технических отчетов, получено 5 авторских свидетельств. В 90-х годах XX века начата публикация результатов исследований в открытой печати [1-17].

#### Литература

1. Курин Н.П., Шашкин Б.Ф., Беляев В.М. и др. Разработка высокоинтенсивного униполярного среднетемпературного диафрагменного фторного электролизера с принудительной циркуляцией электролита. // Журн. прикл. химии. 1994. Т.67. Вып. 11.
2. Курин Н.П., Шашкин Б.Ф., Беляев В.М. Исследование процесса электролиза системы KF-HF в высокотемпературном режиме с принудительной циркуляцией электролита. Там же.
3. Курин Н.П., Шашкин Б.Ф., Беляев В.М. Исследование процесса электролиза системы KF-HF в высокотемпературном режиме с принудительной циркуляцией электролита // 1<sup>th</sup> International conference chemistry, technology and application of fluorocompounds in industry. – St. Petersburg: 1994.
4. Курин Н.П., Шашкин Б.Ф., Беляев В.М. и др. Разработка высокоинтенсивного униполярного среднетемпературного диафрагменного фторного электролизера с принудительной циркуляцией электролита. Там же.
5. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., et al. Development of the high intensity fluorine electrolyzers with forced circulation of the electrolyte // Научно-техн. конф. по использованию результатов науки в вузах Сибири для международного сотрудничества. – Томск: 1995.
6. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., et al. Development of chemical and physical basis of high-intensity methods of fluorine electrochemical production and construction of high unit production unipolar and bipolar fluorine electrolyzers. // 12<sup>th</sup> International Congress of chemical and Process Engineering. – Praha: 1996.
7. Kurin N.P., Shashkin B.F., Sviridov A.B., Dusebaev B.O. Study of electrode processes in fluorine production. // 15<sup>th</sup> International Symposium on Fluorine Chemistry. The University of British Columbia. - Vancouver, Canada, August 2-7 1997.
8. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., et al. Development of high intensive middle temperature fluorine electrolyzers. // 15<sup>th</sup> International Symposium on Fluorine Chemistry. - Vancouver, Canada, 1997.
9. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M. Design of high temperature fluorine electrolyzers. // 15<sup>th</sup> International Symposium on Fluorine Chemistry. - Vancouver, Canada, 1997.
10. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., et al. The investigation of electrolyses of the KF·nHF system in the high temperature conditions with forced circulation of the electrolyte // The second Russian Korean international symposium of Science and Technology. – Tomsk, 1998.
11. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M. Investigation of the electrolysis of the KF·nHF system under high temperature conditions with forced electrolyte circulation. // Abstracts 2 Intern. Simpos. on Science and Technology “KORUS-98” Russian-Korean. – Tomsk, 29.08-5.09-1998.
12. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., Lozhkomev S.N. Development of high – intensity middle temperature diaphragm fluorine electrolyzer with forced circulation of the electrolyte. // Abstracts 2 Intern. Simpos. on Science and Technology “KORUS-98” Russian-Korean. – Tomsk, 29.08-5.09-1998.
13. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M. Intensification and perspectives of high temperature method of elementary fluorine production. // Abstracts 13 International Congress of Chemical and Process Engineering. – Praha, 23-28 AUGUST 1998.
14. Курин Н.П., Шашкин Б.Ф., Беляев В.М. Интенсификация и перспективы высокотемпературного способа получения элементного фтора. // V научно-техн. конф. СХК, посвященная 50-летию комбината. – Северск, 20-23 октября 1998 г.
15. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., et al. Development of chemical and physical basis of high – intensity methods of fluorine electrochemical production and construction of high unit production unipo-

- lar and bipolar fluorine electrolyzers. // 2 Intern. Simpos. on Science and Technology "KORUS-98" Russian-Korean. – Tomsk, 29.08-5.09.1998.
16. Kurin N.P., Shashkin B.F., Belyaev V.M., Minin M.G., et al. Duisebaev B.O. Development of chemical and physical basis of high-intensity methods of fluorine electrochemical production. // The second Russian Korean international symposium on science and technology. – Tomsk, 1998.
17. Курин Н.П., Шашкин Б.Ф., Беляев В.М. Интенсификация и перспективы высокотемпературного способа получения элементарного фтора. // Химическая технология и автоматизация предприятий ядерного топливного цикла: Сб. научных трудов. – Северск: 1999.

## INTENSIFICATION OF PRODUCTION OF FLUORINE

N.P. Kurin, B.F. Shashkin, V.M. Belyaev, M.G. Minin, A.B. Sviridov, S.N. Lozhkomev, B.O. Duisebaev, Y.F. Kobzar\*, Y.Y. Tomash\*, V.P. Stolbov\*

*Tomsk polytechnic university, \*The Siberian chemical combine*

In given work the review of experimental researches on an intensification of production of element fluorine by electrolysis of a melt  $KF \cdot nHF$  at the expense of usage of forced circulation of an electrolyte is shown. The brief history of work on problem, principal diagrams of the tested designs of electrolytic furnaces in laboratory and industrial conditions and influence of electrolysis' parameters on basic indexes is adduced. The carried out researches on analysis of physic-chemical properties of a melt  $KF \cdot nHF$ , missing in scientifically-technical literature, on analysis of the gear of electrode processes which are flowing past at an electrolysis of a system  $KF \cdot nHF$ , on corrosion of construction materials and ways of their protection in a melt  $KF \cdot nHF$  and other, bound with the given one problems are enumerated. The list of the activities published in open printing is adduced.

УДК 665.761:546.791:628.477

## ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ УРАНСОДЕРЖАЩИХ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

А.Г. Каренгин, Д.В. Сергеев, Н.А. Варфоломеев

*Томский политехнический университет*

В данной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по использованию ультрадисперсных активаторов горения на основе переходных металлов для снижения содержания вредных веществ в отходящих газах технологических печей и утилизации отработанных масел ВМ-4 и И-50А. Даны рекомендации по проведению процесса утилизации отработанных масел.

В процессе работы технологического оборудования на ЗРИ СХК происходит накопление отработанных масел типа И-50А и ВМ-4. В настоящее время их утилизацию осуществляют путем сжигания в технологической печи. Подача отработанного масла в технологическую печь осуществляется через пневматическую форсунку внешнего смешения. Отходящие газы технологической печи в своем составе содержат сажу, соединения урана и фтора, окислы углерода и азота. Варьирование режимов сжигания не дает необходимого эффекта по снижению их содержания в отходящих газах.

Обычно, для снижения содержания вредных веществ (сажи,  $CO$ ,  $NO_x$  и др.) в отходящих газах технологических печей применяются каталитические фильтры на основе дорогостоящих платины, палладия и родия. Однако наличие в отходящих газах сажи и механических примесей приводит к забивке поверхности фильтров и выходу их из эксплуатации.