

УДК 66.067.5+66.061.5  
© 1997

## РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО И ЭКСТРАКЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗАВОДА РТ-1

*И.М. Балакин, А.Н. Роцин, С.Л. Никулин, А.Г. Тюльпа, Е.И. Рылова, В.И. Девяткин  
Россия, Екатеринбург, АООТ "СВЕРДНИИХИММАШ"*

*Е.Г. Дзекун, В.П. Уфимцев, Г.И. Перминов, П.П. Шевцев, И.П. Сахарова  
Россия, Озерск, ПО "Маяк"*

Приведены конструкции и описана работа фильтрационного и экстракционного оборудования, разработанного Свердловским заводом химического машиностроения, для переработки облученного ядерного топлива.

Растворы облученного ядерного топлива (ОЯТ) представляют собой малоконцентрированные суспензии. Твердая фаза этих суспензий состоит из высокодисперсных и коллоидных взвесей, которые при контакте с органическим экстрагентом образуют межфазные пленки, нарушающие нормальную работу экстракторов. В связи с этим осветление растворов является непременным условием стабильной работы экстракционных переделов на заводах регенерации ОЯТ.

При создании оборудования для завода РТ-1 для этой цели было решено использовать фильтры. Отсутствие движущихся частей, компактность, простота конструкции, легкость дистанционного обслуживания выгодно отличают фильтры от других типов осветлительных аппаратов.

В число задач, подлежащих решению при создании фильтра, входили разработка его оптимальной конструкции в соответствии с требованиями радиохимического производства, выбор фильтровальной перегородки, обеспечивающей необходимые степень очистки растворов от взвесей и скорость фильтрования, определение режимов работы фильтра.

На заводе РТ-1 для осветления растворов ОЯТ твэлов ВВЭР-440 первым был применен пат-

ронный фильтр с дистанционным подсоединением трубопроводов к технологическим коммуникациям, рис. 1. Фильтр состоит из цилиндрического корпуса 2 диаметром 500 мм с эллиптическим днищем 1 и крышкой 5; к крышке крепится трубная решетка 4 с семнадцатью металлокерамическими фильтрующими патронами 3. Площадь поверхности фильтрования равняется 2 м<sup>2</sup>, вместимость корпуса фильтра - 300 л. Фильтрование осуществляется с предварительной обработкой фильтруемого раствора флокулянтам и с применением вспомогательного фильтрующего материала - перлита.

Цикл работы фильтра включает намывку слоя перлита на патроны, фильтрование под давлением до 0,3 МПа, отмывку осадка от урана, распулповку осадка, выгрузку пульпы и регенерацию патронов методом гидравлического удара [1]. Фильтр обеспечивал требуемую степень очистки и скорость фильтрования растворов. Недостаток этого фильтра состоял в необходимости замены всего аппарата при разрушении хотя бы одного фильтрующего патрона. Фильтры с дистанционным подсоединением трубопроводов были заменены более совершенными аппаратами - патронными фильтрами ядернобезопасной геометрии, рис. 2.

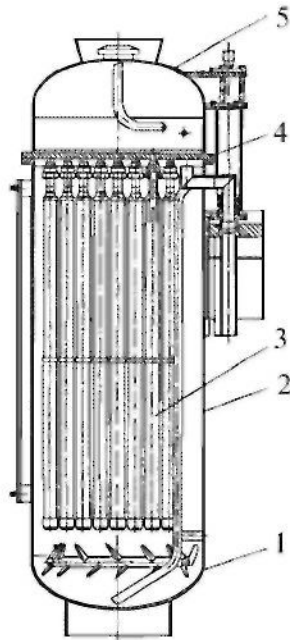


Рис. 1. Патронный фильтр с дистанционным подсоединением трубопроводов (1 - днище, 2 - корпус, 3 - фильтрующий патрон, 4 - трубная решетка, 5 - крышка)

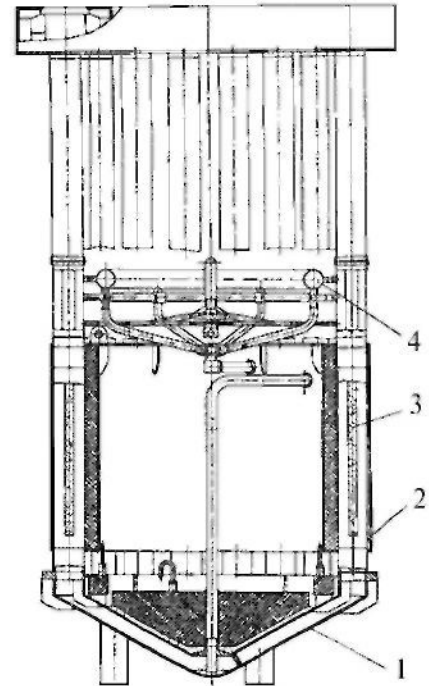


Рис. 2. Патронный фильтр (1 - днище, 2 - корпус, 3 - фильтрующий патрон, 4 - коллектор)

Фильтр представляет собой восемнадцать цилиндрических корпусов 2 диаметром 140 мм, расположенных по окружности и соединенных в нижней части коническим днищем 1, а в верхней - коллектором 4 сбора фильтрата, подачи и сдувки сжатого воздуха при регенерации. В каждом корпусе по центру установлено по одному фильтрующему металлокерамическому патрону 3 длиной 1000 мм и диаметром 40 мм. Общая площадь поверхности фильтрования равняется 2м<sup>2</sup>. Цикл работы фильтра состоит из тех же операций, что и фильтра с дистанционным подсоединением трубопроводов. В случае выхода из строя фильтрующего патрона производится отключение соответствующего корпуса без остановки аппарата и дистанционная замена патрона.

Использование разработанных патронных фильтров периодического действия позволило достичь высоких технологических показателей. Однако увеличение производительности заводов по переработке ОЯТ, оснащенных фильтрами периодического действия, ведет к существенному увеличению производственных площадей фильтровальных отделений, капитальных затрат и объемов высокоактивных сбросных пульп, подлежащих хранению. Проблему можно решить применением фильтра непрерывного действия. Такой фильтр позволяет значительно уменьшить капитальные затраты, количество емкостного оборудования и запорной арматуры, а также резко увеличить выход продукта с единицы рабочей поверхности аппарата и автоматизировать управление процессом.

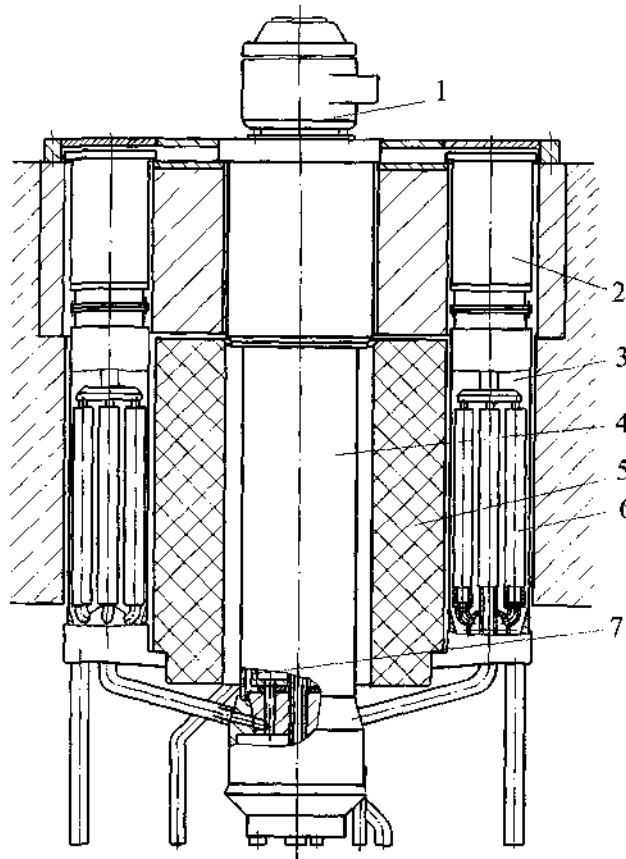


Рис. 3. Патронный фильтр непрерывного действия  
(1 - привод, 2 - пробка, 3 - фильтрующая камера, 4 - центральный ствол, 5 - нейтронопоглощающая вставка, 6 - фильтрующий патрон, 7 - распределительное устройство)

С целью реализации преимуществ, присущих непрерывнодействующим фильтрам, а также с целью уменьшения объемов радиоактивных отходов, подлежащих хранению, был разработан ядернобезопасный патронный фильтр непрерывного действия [2], обеспечивающий осветление исходных растворов ОЯТ без применения перлита.

Принципиальное устройство фильтра и его размещение в перекрытии каньона показано на рис. 3. Фильтр включает следующие основные узлы: фильтрующие камеры 3, центральный ствол 4 с расположенным в нем распределительным устройством 7, привод 1 с регулируемой частотой вращения. Вокруг цен-

трального ствола фильтра расположено двенадцать фильтрующих камер внутренним диаметром 140 мм с пробками биологической защиты 2. Между центральным стволом и фильтрующими камерами располагается нейтронопоглощающая вставка 5. В каждой камере установлено по шесть фильтрующих металло-керамических патронов 6, объединенных полостью для приема фильтрата.

В каждой камере выполняются следующие операции: фильтрование, промывка и сушка осадка на патронах, регенерация патронов и слив суспензии распульпованного осадка (репульпата). Смена операций осуществляется распределительным устройством,

вращающимся в центральном стволе. В качестве материала пар трения распределителя используется силицированный графит; для передачи вращения на вал распределителя разработан специальный герметичный редуктор [3].

Фильтрация осуществляется под действием вакуумметрического давления. В период фильтрования камера заполнена исходной суспензией, по окончании фильтрования остатки непрофильтрованной суспензии сливаются из камеры, и в нее подается сначала промывной раствор, а затем, после слива остатков промывного раствора, распульповочная жидкость. Сливаемые остатки исходной суспензии и промывного раствора возвращаются в емкость с исходной суспензией.

Регенерация патронов производится с помощью импульсной подачи сжатого воздуха внутрь патронов в направлении, обратном фильтрованию. При периодической работе камер фильтр в целом работает непрерывно при постоянной скорости фильтрования. Общая площадь поверхности патронов составляет 4,2 м<sup>2</sup>, площадь патронов в зоне фильтрования - 2,5 м<sup>2</sup>, вместимость фильтрующей камеры - 6,5 л, частота вращения вала распределителя - 0,2-2,0 об/мин.

Конструкция фильтра позволяет производить дистанционную раздельную замену фильтровальных камер и распределителя.

Во всех приведенных выше фильтрах для изготовления патронов используются металло-керамические фильтрующие элементы, изготовленные из порошков титана или коррозионностойкой стали; длина элементов от 80 до 500 мм, наружный диаметр 40мм, толщина стенки 2-3 мм. Многолетняя эксплуатация патронных фильтров показала, что срок службы фильтрующих патронов составляет в среднем 1,3 года. Внезапное механическое разрушение их под действием агрессивной среды сопровождается нежелательным попаданием неосветленных растворов на последующие технологические пределы. Этому недостатка не имеют аппараты с несвязанной фильтрующей перегородкой - насыпные фильтры.

Для осветления растворов ОЯТ реакторов ВВЭР-440 с высокой глубиной выгорания и

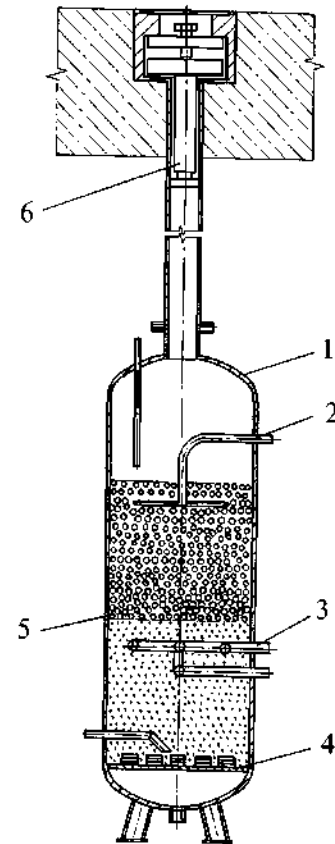


Рис. 4. Насыпной двухслойный фильтр  
 1 - корпус,  
 2 - верхнее распределительное устройство,  
 3 - среднее распределительное устройство,  
 4 - дренажно-распределительное устройство,  
 5 - фильтрующая загрузка,  
 6 - устройство для загрузки фильтрующих материалов.

жидких высокоактивных отходов перед экстракционной переработкой были разработаны и эксплуатируются насыпные двухслойные фильтры повышенной грязеемкости [4].

Насыпной фильтр, рис. 4, представляет собой цилиндрический сосуд с эллиптическим дном и крышкой. Корпус фильтра 1 оборудован верхним 2 и средним 3 распределительными устройствами, дренажно-распределительным устройством 4 и технологически-

ми штуцерами. В корпусе фильтра находится двухслойная фильтрующая загрузка 5 из электрокорунда 91АМ50 и металлосферического коррозионностойкого порошка (МСП). К крышке фильтра подсоединяется устройство 6 для загрузки фильтрующих материалов.

Верхнее распределительное устройство 2 предназначено для подачи исходной суспензии в слой фильтрующего материала и представляет собой центральную трубу, к нижней части которой подсоединены три перфорированных трубки с отверстиями.

Средний распределитель 3 предназначен для подачи фильтрата в корпус фильтра при периодических промывках верхней части слоя загрузки в процессе фильтрования и для подачи воздуха и промывного раствора при регенерации загрузки. Конструкция распределителя позволяет проводить промывку его внутренней полости при попадании в нее загрязнений.

На корпусе фильтра установлена дистанционно перемещаемая по его высоте камера дозиметрического контроля, предназначенная для измерения активности осадка. По значениям активности оценивается распределение осадков по высоте слоя фильтрующей загрузки, а также контролируется высота слоя загрузки и эффективность ее регенерации.

Работа фильтра циклическая и включает в себя проведение следующих операций:

- фильтрование с периодическими промывками верхней части слоя фильтрующей загрузки без выноса загрязнений из корпуса фильтра;
- промывку осадка и фильтрующей загрузки от ценных компонентов;
- водовоздушную регенерацию фильтрующей загрузки [5];
- гидравлическую выгрузку фильтрующих материалов (при необходимости).

Фильтр аналогичной конструкции, но с однослойной загрузкой из МСП, используется для очистки оборотного экстрагента на установке фракционирования жидких высокоактивных отходов.

Для осветления ОЯТ алюминийсодержащих твэлов разработан кольцевой насыпной

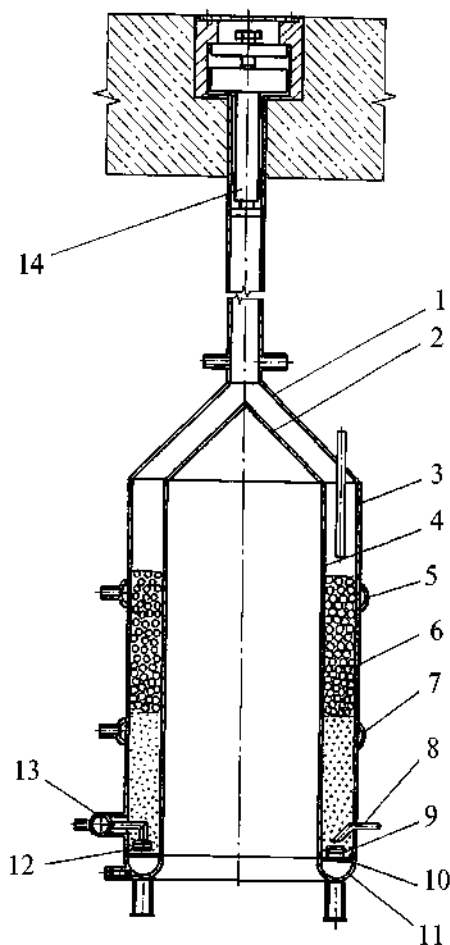


Рис. 5. Кольцевой насыпной двухслойный фильтр

1,2 - днище; 3,4 - обечайка; 5 - верхнее распределительное устройство; 6 - фильтрующая загрузка; 7 - среднее распределительное устройство; 8 - патрубок; 9 - дренажный элемент; 10 - решетка; 11 - кольцевое днище; 12 - распределительный элемент; 13 - коллектор; 14 - устройство для загрузки фильтрующих материалов.

двухслойный фильтр, рис. 5.

Кольцевой насыпной фильтр представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат с кольцевым рабочим пространством. В верхней части кольцевое пространство ограничено отбортованными коническими дни-

щами 1 и 2, а в средней - обечайками 3 и 4.

Нижняя часть аппарата, образованная решеткой 10 и кольцевым днищем 11, выполняет роль фильтратной камеры. На решетке 10 расположены дренажные элементы 9 щелевого типа.

На внешней обечайке корпуса фильтра расположены верхнее распределительное устройство 5 для подачи осветляемой суспензии в слой фильтрующей загрузки и среднее распределительное устройство 7 для промывки верхней части слоя загрузки.

Для гидравлической выгрузки фильтрующих материалов в корпусе фильтра установлен патрубок 8, а на диаметрально противоположной ему стороне расположен коллектор 13 с тремя распределительными элементами 12, аналогичными дренажным элементам 9.

В корпусе фильтра находится двухслойная фильтрующая загрузка 6. К крышке фильтра подсоединяется устройство 14 для загрузки фильтрующих материалов.

Работа фильтра циклическая, аналогична работе фильтра, представленного на рис. 4.

Результаты эксплуатации насыпных фильтров показали их надежность и эффективность. Фильтры позволяют осветлять суспензии с массовой концентрацией твердой фазы до 1,5 г/л, при этом грязеемкость фильтров составляет 60-80 кг/м<sup>2</sup>.

Внедрение насыпных фильтров повышенной грязеемкости в технологию осветления суспензий радиохимических производств позволило улучшить условия работы обслуживающего персонала и сократить объемы высокоактивных отходов, подлежащих долгосрочному контролируемому хранению.

Важную роль в создании и совершенствовании конструкций фильтров для осветления высокоактивных растворов ОЯТ сыграла разработка суспензии-имитатора, имеющей фильтрационные свойства, практически одинаковые с реальным раствором [6]. Использование суспензии-имитатора позволило не только создать безопасные условия проведения экспериментов, но и существенно сократить их стоимость.

Экстракционная технология выделения урана и других элементов на заводе РТ-1 первоначально была оснащена пульсационными смесительно-отстойными экстракторами, в которых перемешивание и транспортировка фаз осуществлялись за счет импульсной подачи в них сжатого воздуха и которые обеспечивали проведение технологического процесса с заданными параметрами. Принципиальное устройство такого экстрактора показано на рис. 6.

Главным фактором при выборе пульсационных экстракторов для оснащения экстракци-

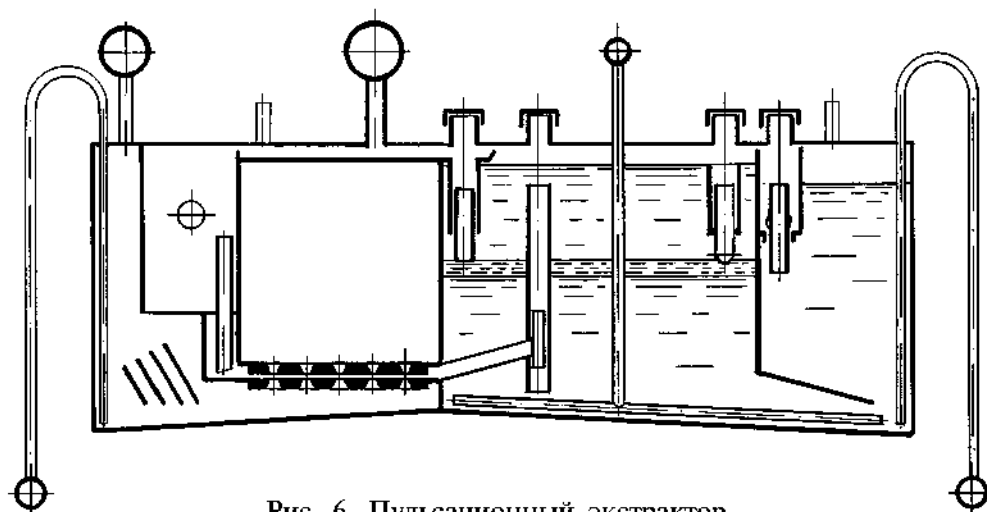


Рис. 6. Пульсационный экстрактор

онных отделений послужило отсутствие у них движущихся частей в рабочей зоне, что должно было за счет повышения надежности работы компенсировать их недостатки: образование тонкой, трудно расслаиваемой эмульсии при диспергировании фаз в соплах смесительных камер, сложность управления гидродинамическими режимами работы аппаратов, большой расход дополнительно поступающего на очистку воздуха.

В процессе эксплуатации обнаружился еще один существенный недостаток этих экстракторов - вызываемые давлением пульсирующего воздуха значительные деформации и напряжения в плоских стенках аппаратов.

С целью усовершенствования экстракционной технологии и ее аппаратного оформления был проведен большой объем научных исследований по изучению процессов диспергирования и расслаивания водной и органической фаз и ряда других вопросов, касающихся гидродинамики двухфазных экстракционных систем, а также разрабатывались и испытывались различные типы экстракторов: пленочные аппараты, пульсационные и вибрационные колонны, смесители-отстойники с пропеллерными или турбинными мешалками, центробежные экстракторы.

Абсолютное большинство разработок относилось к центробежным экстракторам, обладающим рядом неоспоримых преимуществ перед всеми другими типами экстракторов: минимальная рабочая вместимость и, соответственно, время контактирования фаз в аппарате, небольшой объем циркулирующего в схеме органического экстрагента, кратчайшее время установления стационарного режима работы многоступенчатого экстракционного каскада, высокая удельная (на единицу массы аппарата) производительность и эффективность.

Были разработаны, изготовлены и испытаны центробежные экстракторы с диаметром ротора от 75 до 450 мм производительностью, соответственно, от 0,1 до 20,0 м<sup>3</sup>/ч.

На рис. 7 приведено устройство экстрактора ЦЭН-150 с диаметром ротора 150 мм, а на рис. 8 - вариант исполнения этого экстрактора для размещения в каньоне.

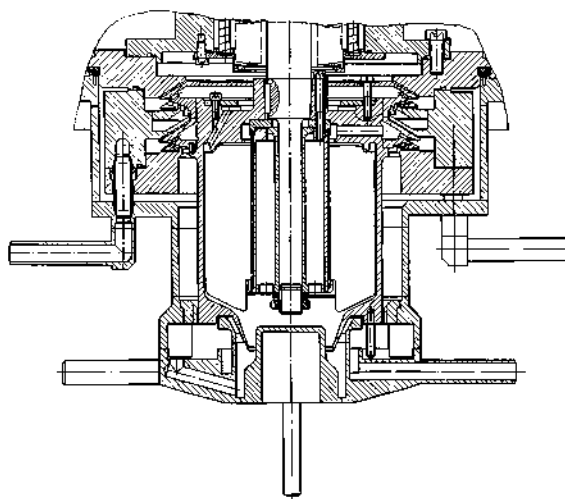


Рис. 7. Центробежный экстрактор ЦЭН-150

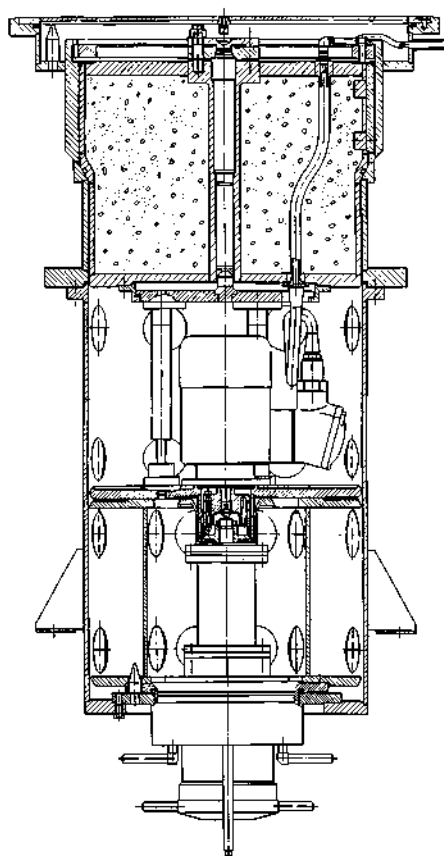


Рис. 8. Экстрактор ЦЭН-150. Исполнение для размещения в каньоне.

Многоступенчатые аппараты на базе центробежных экстракторов с диаметром ротора 75 и 150 мм были успешно испытаны в производственных условиях. Достаточно полное разделение фаз (взаимный унос не более 0,02%) достигалось при времени пребывания фаз в роторе примерно 5 с, а равновесные концентрации целевых компонентов в фазах достигались при времени их контакта в смесительной камере экстракционной ступени менее 1 с. Аппараты были выполнены в соответствии с условиями радиохимических производств и отвечали требованиям ядерной безопасности.

Несмотря на положительные результаты, полученные при разработке центробежных экстракторов, последние не были использованы для оснащения завода РТ-1 по ряду объективных причин.

Одной из них явилось отсутствие соответствующих по быстродействию приборов и элементов систем контроля и управления. Поскольку центробежные экстракторы весьма чувствительны даже к незначительным изменениям входных параметров, при их работе требуется либо автоматизация процесса, либо постоянный и непрерывный контроль со стороны высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Кроме того, для успешной эксплуатации центробежных экстракторов необходима была самостоятельная ремонтная база, оснащенная достаточно сложными специальными устройствами и приспособлениями, включая станки для балансировки роторов.

В результате взамен пульсационных экстракторов для завода РТ-1 были разработаны более простые, надежные и эффективные смесительно-отстойные экстракторы с механическим перемешиванием и транспортировкой фаз типа КРАБ, имеющие оригинальную конст-

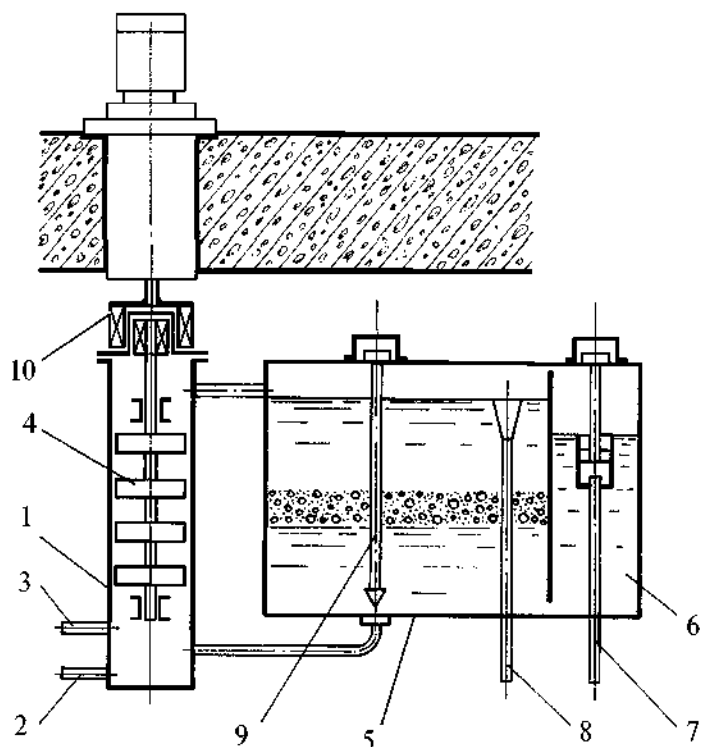


Рис. 9. Экстрактор с механическим перемешиванием фаз

1 - смесительная камера; 2,3 - штуцеры ввода водной и органической фаз соответственно; 4 - смесительно-транспортирующее устройство; 5 - отстойная камера; 6 - гидрозатвор; 7,8 - штуцеры вывода водной и органической фаз соответственно; 9 - устройство для рециркуляции водной фазы; 10 - магнитная муфта.

рукцию смесительной камеры и смесительно-транспортирующего устройства [7].

Поскольку экстракторы предназначены для работы с делящимися материалами, они выполнены с соблюдением требований ядерной безопасности и приспособлены для дистанционного обслуживания и размещения в каньонах. Ядерная безопасность экстракторов обеспечивается ограничением их размеров и наличием между ступенями нейтронопоглощающих вставок.

Принципиальное устройство экстрактора показано на рис. 9.



Каждая экстракционная ступень, из которых komponуются многоступенчатые противоточные экстракционные аппараты, состоит из цилиндрической смесительной камеры, в которой расположено смесительно-транспортующее устройство, и вертикальной плоской отстойной камеры, оборудованной гидрозатвором, штуцерами для отдельной выдачи водной и органической фаз, а также устройством для рециркуляции одной из фаз внутри ступени.

Вал смесительно-транспортующего устройства опирается на подшипники скольжения, которые выполнены из силицированного графита и смазываются рабочими растворами. Привод вала осуществляется от электродвигателя через герметичную магнитную муфту и промежуточный вал, проходящий через перекрытие каньона.

Смесительно-транспортующее устройство, выполненное в виде нескольких последовательно установленных на валу турбинок специальной конструкции, обеспечивает при частоте вращения вала ( $400 \pm 100$ ) об/мин необходимый для транспортировки фаз напор и достаточно развитую для эффективного массообмена поверхность контакта фаз без передробления дисперсной фазы, что существенно сокращает время последующего разделения эмульсии в отстойной камере и обуславливает высокую удельную производительность аппарата. Повышение производительности и эффективности работы экстракторов достигается также за счет оригинальной технологической обвязки ступеней [8].

Применение экстракторов с механическим перемешиванием фаз позволило без увеличения производственных площадей примерно вдвое повысить производительность экстракционных переделов и исключить использование пульсационного воздуха.

Экстракторы успешно эксплуатируются на заводе РТ-1 с 1988 года, они надежны в работе и обеспечивают все заданные технологические параметры [9].

Продолжающиеся исследования и опыт длительной эксплуатации экстракторов по-

зволили провести модернизацию их смесительно-транспортующих устройств с целью дальнейшего повышения надежности работы и улучшения условий дезактивации при проведении ремонтных работ. Разработаны и разрабатываются смесительно-отстойные экстракторы с механическим перемешиванием фаз типа КРАБ различных типоразмеров для оснащения других экстракционных отделений завода.

С целью улучшения условий труда обслуживающего и ремонтного персонала разработано специальное оборудование (контейнеры, ремонтный бокс, приспособления) для дистанционного демонтажа, дезактивации и разборки подлежащих ремонту съемных узлов экстракторов.

Наряду с постоянным совершенствованием работающего оборудования непрерывно продолжаются поисковые работы по созданию новых, высокоэффективных экстракторов. Одной из таких работ является разработка принципиально нового экстрактора с насыпным слоем зернистого материала ПО-РЭКС [10-13], выполненная на основе предварительных исследований сотрудников ЦЗЛ ПО "Маяк".

Отличительной особенностью такого экстрактора является то, что массопередача между водной и органической фазами осуществляется при их движении тонкими струями и пленками через слой зернистого материала. При этом необходимая поверхность контакта фаз и высокая эффективность массообмена обеспечиваются за счет развитой удельной поверхности зернистого материала без диспергирования фаз, что обуславливает быстрое последующее их разделение в отстойной камере и, следовательно, высокую удельную производительность аппарата.

Слой зернистого материала может находиться в состоянии псевдооживления, что препятствует каналообразованию и делает экстрактор нечувствительным к образующейся в процессе экстракции третьей фазе и наличию осадков.

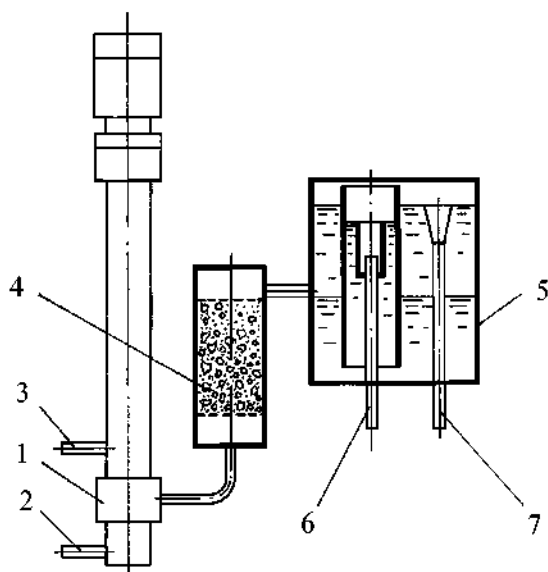


Рис. 10. Экстрактор ПОРЭКС  
1 - нагнетательная камера; 2,3 - штуцеры ввода водной и органической фаз соответственно; 4 - смешительная камера (реактор) с зернистым материалом; 5 - отстойная камера; 6,7 - штуцеры вывода водной и органической фаз соответственно.

Устройство экстрактора с насыпным слоем зернистого материала схематически показано на рис.10.

Он представляет собой экстракционную ступень, включающую в себя нагнетательную камеру со штуцерами ввода водной и органической фаз, в которой установлено устройство для транспортировки водной и органической фаз с приводом, смешительную камеру (реактор) с помещенным в нее зернистым материалом и отстойную камеру, оборудованную гидрозатвором и штуцерами для вывода водной и органической фаз.

В табл.1 приведены характеристики некоторых материалов, которые могут быть использованы в экстракторах в качестве насыпного слоя, а в табл.2 - гидравлическое сопротивление слоя зернистого материала высотой 250 мм при различной скорости фаз в реакторе.

Таблица 1  
Характеристики зернистых материалов

| Физические величины и размерности  | Материал насыпного слоя |                           |                        |
|--|-------------------------|---------------------------|------------------------|
|  | Фарфор                  | Сталь 12X18H10T           |                        |
| Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>   | 2460                    | 7900                      |                        |
| Форма и размеры частиц, мм   | Бусы<br>3610            | Порошок<br>$d=0,5\pm 0,1$ | Кольца<br>110,2        |
| Эквивалентный диаметр частиц $d$ , м   | $6,7341 \cdot 10^{-3}$  | $0,50410^{-3}$            | $9,8641 \cdot 10^{-4}$ |
| Коэффициент формы  | 0,474                   | 1,0                       | 0,507                  |
| Порозность слоя $e_0$  | 0,64                    | 0,40                      | 0,42                   |
| Удельная поверхность $f$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>                                | 704                     | 7200                      | 6960                   |
| Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>  | 890                     | 4740                      | 4108                   |
| Скорость псевдоожижения слоя $w_{\text{ж}}$ , отнесенная к полному сечению реактора, м/с | $71,541 \cdot 10^{-3}$  | $3,3410^{-3}$             | $16,041 \cdot 10^{-3}$ |

Таблица 2  
Гидравлическое сопротивление насыпного слоя

| Скорость в сечении реактора, м/с | Зернистый материал                |                      |                 |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------|
|                                  | Бусы<br>3610                      | Порошок<br>$d = 0,5$ | Кольца<br>110,2 |
|                                  | Потери напора в слое, мм вод. ст. |                      |                 |
| $2,4410^{-3}$                    | 1                                 | 683                  | 18              |
| $3,2410^{-3}$                    | 2                                 | 1014                 | 31              |
| $12,3410^{-3}$                   | 26                                | 1033                 | 461             |
| $18,4410^{-3}$                   | 54                                | 1056                 | 668             |
| $24,6410^{-3}$                   | 94                                | 1088                 | 700             |

При проведении предварительных исследований в качестве зернистого материала был использован порошок нержавеющей стали 12X18H10T с диаметром сферических гранул от 0,4 до 0,6 мм [12]. При экстрагировании уранилнитрата из азотнокислых растворов 30% раствором трибутилфосфата равновесные концентрации в фазах достигались в слое такого

материала высотой 250 мм при времени контакта фаз 9 с. Хорошее разделение фаз, практически без взаимного их уноса, достигалось при удельной нагрузке на единицу площади отстаивания свыше  $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Как видно из приведенных данных, наиболее предпочтительными для использования в качестве насыпного слоя являются кольца  $1 \times 1 \times 0,2$  из нержавеющей стали 12X18H10T, поскольку они имеют достаточно развитую удельную поверхность ( $f=6960 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ), выполнены из материала (нержавеющая сталь), для которого имеются отработанные методики дезактивации, насыпной слой из них обладает небольшим гидравлическим сопротивлением, а скорость псевдооживления слоя ( $w_{\text{кр}}=0,016 \text{ м/с}$ ), при необходимости, допускает возможность проводить его промывку непосредственно в аппарате, при увеличенном по сравнению с рабочими нагрузками, расходе регенерационного раствора и повышенной частоте вращения вала транспортирующего устройства.

На основании результатов проведенных исследований был разработан и изготовлен опытно-промышленный трехступенчатый экстрактор с насыпным слоем зернистого материала, имеющий приведенную ниже техническую характеристику.

Электродвигатели всех ступеней запитаны от электросети через тиристорный преобразователь частоты ЭКТ2Д-25/380, что позво-

ляет изменять частоту их вращения от 180 до 1000 об/мин.

Опоры валов турбинок устройств для транспортировки фаз выполнены в виде подшипников скольжения из силицированного графита со смазкой рабочими растворами.

Экстракторы ПОРЭКС могут быть использованы вместо экстракторов КРАБ для увеличения производительности при размещении аппаратов на тех же производственных площадях в существующих каньонах или, при сохранении производительности, для высвобождения части площади каньонов с целью размещения в них дополнительного технологического оборудования.

Непременным условием применения экстракторов ПОРЭКС является наличие необходимого количества подходящего по своим свойствам зернистого материала, например, колец из стали 12X18H10T с размерами  $1 \times 1 \times 0,2 \text{ мм}$ .

Применение экстракторов с зернистым материалом ПОРЭКС позволит увеличить производительность экстракционных переделов без увеличения производственных площадей, повысить качество очистки продуктов, а также улучшить санитарные условия труда и экологическую обстановку путем уменьшения потерь органического экстрагента, сокращения расхода регенерационного содового раствора, минимизации объемов поступающих на отверждение отходов.

#### ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКСТРАКТОРА ПОРЭКС

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Производительность транспортирующего устройства | $1 \text{ м}^3/\text{ч}$       |
| Ширина отстойника по слою жидкости              | 60 мм                          |
| Высота налива в отстойнике                      | 630 мм                         |
| Рабочая площадь отстойника                      | $0,054 \text{ м}^2$            |
| Рабочее давление в отстойнике                   | налив                          |
| Диаметр реактора                                | 120 мм                         |
| Вместимость реактора                            | $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  |
| Количество экстракционных ступеней              | 3                              |
| Рабочая вместимость одной ступени               | $50 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ |
| Масса экстрактора с загрузкой                   | 570 кг                         |
| Основной конструкционный материал               | сталь 12X18H10T                |

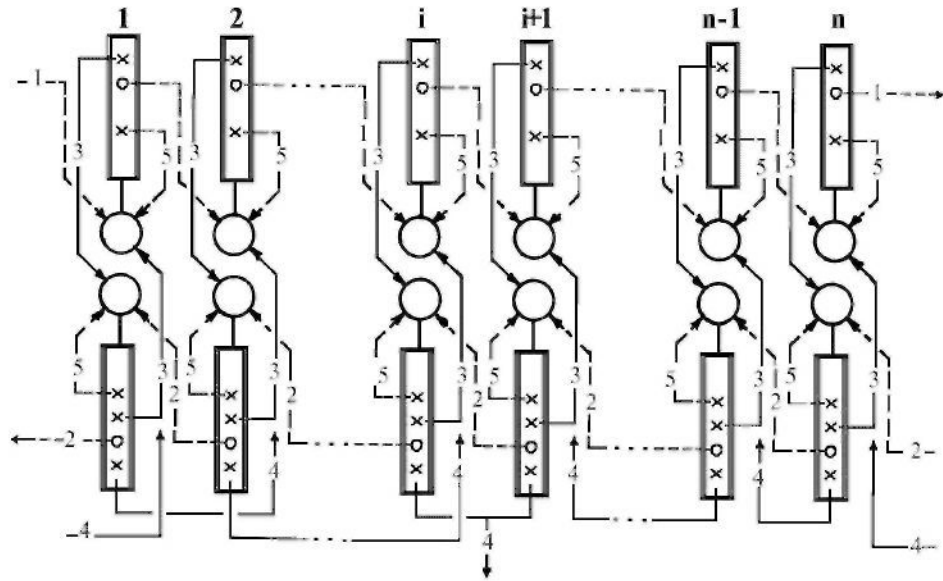


Рис. 11. Схема n-ступенчатого мембранного экстрактора

1...i...n - порядковые номера модулей;

1, 2 - отдающая и принимающая органические фазы соответственно;

3 - циркулирующая в модулях мембранная (водная) фаза;

4 - межконтурный проток мембранной фазы;

5 - циркулирующая в ступенях органическая фаза.

Конструкция экстракторов с механическим перемешиванием фаз позволяет использовать их для аппаратного оформления процесса мембранной экстракции в двухциклической схеме экстракционной очистки урана при переработке ОЯТ [14-16].

Для реализации способа мембранной экстракции применительно к заводу РТ-1 разработан мембранный экстрактор, составленный из отдельных мембранно-экстракционных модулей, каждый из которых состоит из двух экстракционных ступеней, связанных между собой циркуляционным контуром водной фазы-переносчика, играющей роль жидкой подвижной мембраны и поочередно контактирующей с отдающей и принимающей органическими фазами в смесительных камерах ступеней. Отдающей органической фазой является экстракт первого цикла, а принимающей органической фазой - движущийся в аппарате противотоком по отношению к нему оборотный экстрагент

второго цикла. Таким образом, в мембранном экстракторе совмещаются две технологические операции - реэкстракция первого цикла и экстракция второго цикла.

Водная фаза-переносчик, непрерывно циркулируя внутри каждого мембранно-экстракционного модуля и поочередно контактируя с отдающей и принимающей органическими фазами, одновременно выполняет роль реэкстрагента и реэкстракта для реэкстракционных ступеней первого цикла и роль исходного раствора и рафината для экстракционных ступеней второго цикла.

Для предотвращения накопления со временем примесей в циркуляционных контурах модулей предусмотрено постоянное обновление мембранной фазы путем организации ее межконтурного протока. Сходящаяся направленность протока обуславливает его противоток по отношению к обеим органическим фазам и, соответственно, достаточно полное

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТНОГО МОДУЛЯ

|  |                      |
|--|----------------------|
| Расчетная производительность смесителя | 10 м <sup>3</sup> /ч |
| Количество экстракционных ступеней     | 2                    |
| Внутренний диаметр смесителя           | 200 мм               |
| Вместимость смесителя                  | 0,026 м <sup>3</sup> |
| Внутренняя ширина отстойной камеры     | 140 мм               |
| Вместимость отстойной камеры           | 0,58 м <sup>3</sup>  |
| Площадь отстойной камеры               | 0,75 м <sup>2</sup>  |
| Рабочее давление                       | налив                |
| Частота вращения вала смесителя        | 250 об/мин           |
| Основной конструкционный материал      | сталь 12Х18Н10Т      |
| Масса модуля                           | 1300кг               |

освобождение отдающей органической фазы от урана и, одновременно, очистку принимающей органической фазы от примесей. Выведенный из мембранного экстрактора избыток водной фазы подсоединяется к исходному раствору первого экстракционного цикла.

Принципиальная схема мембранного экстрактора [17, 18] с обозначениями технологических потоков приведена на рис. 11.

С целью проверки принятых при проектировании мембранного экстрактора теоретических предпосылок и расчетных зависимостей был разработан опытный мембранно-экстракционный модуль, имеющий приведенную характеристику.

Расчетная производительность модуля по отдающей фазе (экстракту урана первого цикла) 1 м<sup>3</sup>/ч при отношении расходов отдающей Q<sub>1</sub>, принимающей Q<sub>2</sub> и мембранной Q<sub>м</sub> фаз

$$Q_1 : Q_2 : Q_m = 1 : 1,3 : 4$$

В отличие от классической двухциклической схемы экстракционной очистки урана при использовании мембранной экстракции отсутствует рафинат второго цикла, являющийся сбросным радиоактивным раствором, объем которого, как правило, примерно в три раза превышает объем рафината первого цикла.

Таким образом, с применением мембранной экстракции за счет ликвидации рафината второго цикла могут быть весьма существенно

сокращены объемы жидких радиоактивных отходов в экстракционной технологии очистки урана, снижены капитальные и эксплуатационные затраты на их переработку и хранение и улучшена экологическая обстановка при сохранении высоких технологических показателей.

Выполняемые работы направлены на решение насущных задач завода и отрасли и имеют практическое значение. Результатами их завершения являются увеличение удельной производительности аппаратов, сокращение единиц оборудования и объемов находящихся в производстве растворов; повышение надежности работы оборудования и максимально возможное устранение нештатных и аварийных ситуаций; сокращение объемов радиоактивных отходов; улучшение радиационной обстановки и условий труда обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 860819 РФ. В 01Д 27/12. Патронный фильтр /А.М. Нудель, И.М. Балакин, В.С. Герасимов. - Оpubл. БИ №33, 1981.
2. А.с. 659159 СССР. В 01Д 27/10. Распределительное устройство для фильтровальной установки. /А.М. Нудель, А.Г. Тюльпа, В.А. Каверзин, К.А. Долгова, И.М. Балакин. - Оpubл. БИ №16, 1979.
3. А.с. 796521 СССР. Механизм для переда-

- чи вращения в герметизированный объем / В.М. Постовалов, В.Р. Воинков, Е.А. Брыксин/ Оpubл. БИ №2, 1981.
4. Патент 2054300 РФ. В 01Д 37/00, 24/14. Способ очистки жидкостей фильтрованием и устройство для его осуществления / А.М. Нудель, С.Л. Никулин, В.Б. Брагин, Г.И. Перминов, В.П. Уфимцев, Е.Г. Дзекун. - Оpubл. БИ №5, 1996.
5. Патент 1822527 СССР. В 01 Д 24/26. Способ регенерации зернистой загрузки фильтра / А.М. Нудель, С.Л. Никулин. - №4915109/26; Заявл. 28.02.91.
6. А.с. 774421 СССР. В 01 Д 23/12. Модель суспензии, получаемой при растворении отработавших тепловыделяющих элементов водородных энергетических реакторов /К.А. Долгова, Е.И. Рылова. - № 2764538/18-25; Заявл. 03.05.79.
7. Смесительно-отстойный экстрактор: А.с. №950416, СССР.
9. Результаты пуско-наладочных работ и первого периода эксплуатации экстракционных аппаратов типа "Краб": отчет ПО "Маяк", ВНИИНМ, Свердловский ХимМаш, инв. №14221, 1990.
10. Патент №1813480. Совместно-отстойный экстрактор. И.М. Балакин, Е.Г. Дзекун, В.П. Уфимцев, Г.И. Перминов, П.П. Шевцев.
11. Исследования по интенсификации процесса расслаивания эмульсии в экстракторах типа "КРАБ": отчет ПО "Маяк", инв. №4094, 1990.
12. Экстрактор с зернистым материалом: отчет АООТ Свердловский ХимМаш и ПО "Маяк" по теме 0303490, 1993.
13. Экстрактор с зернистым материалом ПО-РЭКС. Стендовые испытания опытно-промышленного аппарата: отчет ЗАО "Свердловский ХимМаш-СКБ" по теме 0352014, 1996.
14. М.А. Афонин, В.В. Королев, Л.Б. Шпунт, В.Н. Романовский, А.И. Карелин, В.А.Белов, В.М.Короткевич, В.И.Волк. Способ экстракционного разделения элементов: заявка №4771235/150338 от 18.12.89, положительное решение ВНИИГПЭ от 28.01.91.
15. В.И. Волк, А.Ю. Вахрушин, Б.С. Захаркин и др. Мембранно-экстракционные процессы: основные особенности и области технологического применения. Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции по химии экстракции. Адлер. 1991. С.358.
16. V.I. Volk, B.S. Zakharkin, A.Yu.Vakhrushin et al. Optimization of Purex-process aimed at volume of aqueous Waste from NPP spent fuel reprocessing. Proc.Int.Conf. on Nuclear Waste, Management and Environmental Remediation. Prague, 1993., V.1, P.673-679.
17. И.М. Балакин, А.Н. Рошин, Е.Г. Дзекун, В.И. Волк. Установка для экстракционной переработки урансодержащих растворов ОЯТ: заявка 96110978/25 от 30.05.96, решение ВНИИГПЭ о выдаче патента РФ на изобретение от 15.04.97.
18. И.М. Балакин, А.Н. Рошин, Е.Г. Дзекун, В.И. Волк. Установка для экстракционной переработки урансодержащих растворов ОЯТ: заявка 96111114/25 от 31.05.96, решение ВНИИГПЭ о выдаче патента РФ на изобретение от 15.04.97.