

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННОЙ КОЛОННОЙ

А.Г. Горюнов Ю.А. Чурсин, К.В. Турецков

Томский политехнический университет, г. Томск



Представлена универсальная многокомпонентная модель процесса экстракции в пульсационной колонне. Произведена проверка адекватности модели и синтезирована система автоматизированного управления концентрацией урана в пульсационной колонне установки по переработке отработавшего ядерного топлива радиохимического завода Сибирского химического комбината.

В ядерных реакторах не происходит полного выгорания горючего, что связано либо с физическим разрушением топлива (тепловыделяющих элементов), либо с преждевременным ухудшением реактивности. Отработанные тепловыделяющие элементы содержат значительное количество делящегося материала, извлечение которого экономически необходимо.

В настоящее время облученное ядерное топливо перерабатывается с помощью экстракционной технологии, использование которой позволяет обеспечить разделение веществ. Аппаратное оформление технологии реализуется на противоточных пульсационных колоннах, соединенных по каскадной схеме.

Для достижения высокой производительности и высокого качества продукции при минимальных производственных затратах применяют системы автоматического управления (САУ). Реализация качественной системы автоматического управления процессом экстракции позволит повысить его безопасность, улучшить технико-экономические показатели производства, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду вследствие сокращения токсичных отходов. При создании САУ для выбора используемых выходных переменных, для настройки регулятора и исследования качества управления целесообразно использовать имитационные модели.

Настоящая работа проводилась с целью разработки универсальной модели процесса экстракции в типовой экстракционной колонне с дальнейшей ее проверкой при синтезе САУ процессом экстракции в конкретном аппарате.

Экстракционная колонна – вертикальный трубчатый аппарат, в котором поступившие реагенты движутся в вертикальном направлении противотоком под действием сил тяжести; кроме этого на него оказывают влияние и такие физические свойства системы как вязкость, межфазное поверхностное натяжение и т.п. В противоточных колоннах наряду с переносом вещества движущейся жидкостью наблюдается переход вещества из одной фазы в другую. При этом каждая фаза движется в противоположном направлении по отношению к другой. Пульсационная колонна состоит из реакционной зоны и вспомогательных частей. Первая представляет собой цилиндрический корпус с расположенными внутри тарелка-

© **А.Г. Горюнов Ю.А. Чурсин, К.В. Турецков, 2009**

ми. В нижней части колонны имеется пульс-камера, которая через пульсопровод соединена с источником передачи импульса пульсации в колонну – пульсатором. Пульсация жидкости в колонне дополнительно дробит капли дисперсной среды (фазы), увеличивая площадь межфазного взаимодействия, тем самым улучшая процесс экстракции [1–4].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ УРАНА В ПУЛЬСАЦИОННЫХ КОЛОННАХ

В колонных реакторах наибольшее распространение получили следующие методы моделирования процесса экстракции: теория подобия, гидравлическое моделирование и математическое моделирование [5].

Для создания моделей колонн коллективом лаборатории моделирования технологических процессов ядерной энергетики и промышленности кафедры электроники и автоматики физических установок физико-технического факультета Томского политехнического университета используется метод математического моделирования. Рассмотрим данный метод.

Уравнения неустановившейся во времени конвективной диффузии с переходом вещества из одной фазы в другую имеют вид [5, 6]

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 x}{\partial h^2} - U_x \frac{\partial x}{\partial h} + W \\ \frac{\partial y}{\partial t} = D_y \frac{\partial^2 y}{\partial h^2} - U_y \frac{\partial y}{\partial h} + W, \end{cases} \quad (1)$$

где x и y – концентрации урана в дисперсной и сплошной фазах; U_x , U_y – скорости течения фаз; D_x , D_y – коэффициенты диффузии жидкостей.

$$W = \beta_1 a (x^* - x) = \beta_2 a (y - y^*),$$

где β_1 и β_2 – коэффициенты массопередачи от одной фазы к другой; a – поверхность соприкосновения двух фаз на единицу объема; x^* , y^* – равновесные значения концентраций.

Коэффициент диффузии D жидкостей настолько мал, что уже при малых скоростях жидкости конвективный перенос вещества значительно преобладает над молекулярной диффузией. Для упрощения выражения (1) обычно пренебрегают членом уравнения, содержащим D .

Получаемое упрощенное уравнение конвективной диффузии – уравнение в частных производных – в первом приближении описывает процессы в противоточных колоннах [3, 4, 6]. Однако данное уравнение предполагает, что скорости U_x , U_y постоянны. Уже в первой разработанной модели процесса экстракции скорости меняются в зависимости от времени, координаты и концентрации урана. В этой связи уравнение (1) становится нелинейным дифференциальным уравнением, аналитическое решение которого затруднено.

Для решения данной проблемы был использован аналитический метод расчета по ступеням извлечения [5], позволяющий учесть пространственное распределение по высоте колонны. В данном методе экстракционную колонну разбивают на зоны – ступени. Ступенью извлечения в насадочных колоннах называют участок колонны, на котором устанавливается равновесие, т.е. концентрация по одному из рассматриваемых компонентов встречных потоков, выходящих из этого участка, характеризуется кривой равновесного распределения. В каждой зоне используют дифференциальное уравнение материального баланса. Зоны соединяют между собой последовательно. Коэффициенты уравнения пересчитываются в каждый момент времени.

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}(x^{out} \cdot V_x + y^{out} \cdot V_y) = x^{in} \cdot Q_x^{in} + y^{in} \cdot Q_y^{in} - x^{out} \cdot Q_x^{out} - y^{out} \cdot Q_y^{out} \\ y^{out} = K_p \cdot x^{out}, \end{cases}$$

где x^{in} и y^{in} – концентрации урана в дисперсной и сплошной фазах на входе в ступень; x^{out} и y^{out} – концентрации урана в дисперсной и сплошной фазах на выходе из ступени; K_p – коэффициент равновесного распределения урана; V_x, V_y – объемы дисперсной и сплошной фаз; Q_x, Q_y – входные и выходные расходы дисперсной и сплошной фаз.

Разработанная модель, адекватная при определенных условиях [7], была использована для создания нескольких САУ концентрацией урана в пульсационных колоннах установки «Утес» Радиохимического завода Сибирского химического комбината (РХЗ СХК).

Однако для расширения функционала и универсализации создания САУ было необходимо устранить следующие ограничения, накладываемые на модель.

- Однокомпонентность. В модели ведется расчет только концентрации урана в органической и водной фазах без учета влияния на нее других компонентов (таких как плутоний, осколки деления, азотная кислота и другие соединения), участвующих в процессе экстракции

- В модели отсутствует возможность изменения количества ступеней, на которые разбивается колонна по высоте, что не позволяет получить требуемую точность распределения компонентов по высоте колонны.

- Вследствие постоянства коэффициента распределения урана K_p модель адекватна в очень узком диапазоне изменения входных координат.

Вновь разрабатываемая модель лишена этих недостатков. Для примера рассмотрим двухкомпонентную модель, однако их количество всегда может быть увеличено добавлением уравнений в систему без значительного увеличения сложности модели.

В данной математической модели экстракционной колонны примем следующие допущения:

- для сплошной фазы используется модель идеального вытеснения [5]; расход экстракта равен расходу входной органической фазы;

- на каждой ступени устанавливается равновесие между содержанием растворенного вещества в обеих фазах [1, 5];

- скорость экстракции очень велика (равновесие устанавливается мгновенно) [5];

- интенсивность пульсаций жидкости одинаковая во всех ступенях;

- температура жидкости в колонне постоянна; температуры всех входных и выходных потоков одинаковы, теплообмен между фазами и окружающей средой не учитывается;

- не моделируется механический унос сплошной фазой дисперсной части;

- считается, что конвективный перенос в поперечном к потоку направлении не влияет на процесс экстракции и поэтому не моделируется.

Основными уравнениями, описывающими процесс массопередачи в динамическом режиме работы колонны, являются уравнения системы (1), а также уравнения, описывающие экстракцию азотной кислоты:

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = D_x \frac{4^2 x}{4t^2} - U_x \cdot \frac{\partial x}{\partial h} + \beta_1 \cdot \alpha \cdot (x^*(y) - x) \\ \frac{\partial y}{\partial t} = D_y \frac{4^2 y}{4t^2} - U_y \cdot \frac{\partial y}{\partial h} + \beta_2 \cdot \alpha \cdot (y^*(x) - y) \\ \frac{\partial N_x}{\partial t} = D_x \frac{4^2 N_x}{4t^2} - U_x \cdot \frac{\partial N_x}{\partial h} + \beta_{N1} \cdot \alpha \cdot (N_x^*(N_y) - N_x) \\ \frac{\partial N_y}{\partial t} = D_y \frac{4^2 N_y}{4t^2} - U_y \cdot \frac{\partial N_y}{\partial h} + \beta_{N2} \cdot \alpha \cdot (N_y^*(N_x) - N_y), \end{cases} \quad (2)$$

где N_x и N_y – концентрации азотной кислоты в дисперсной и сплошной фазах; β_x , β_y , β_{N1} и β_{N2} – индивидуальные коэффициенты массопередачи; N_x^* и N_y^* – равновесные концентрации азотной кислоты.

В математическом описании (2) процесса экстракции учитываются такие явления как конвективное взаимодействие и межфазный массоперенос. Скорости фаз U_x и U_y зависят от концентрации, а также изменяются по высоте колонны. Для получения математического описания процесса экстракции в экстракционной колонне, где присутствуют постоянные приход и расход металла, необходимо учитывать материальный баланс.

Для упрощения выражения (2) обычно пренебрегают членом уравнения, содержащим D . Система уравнений, описывающая процесс экстракции с учетом материального баланса, имеет вид

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = -U_x \cdot \frac{\partial x}{\partial h} + \beta_1 \cdot \alpha \cdot (x^*(y) - x) + \frac{1}{V_x} \cdot (Q_x^{in} \cdot x_{in} - Q_x^{out} \cdot x) \\ \frac{\partial y}{\partial t} = -U_y \cdot \frac{\partial y}{\partial h} + \beta_2 \cdot \alpha \cdot (y^*(x) - y) + \frac{1}{V_y} \cdot (Q_y^{in} \cdot y_{in} - Q_y^{out} \cdot y) \\ \frac{\partial N_x}{\partial t} = -U_x \cdot \frac{\partial N_x}{\partial h} + \beta_{N1} \cdot \alpha \cdot (N_x^*(N_y) - N_x) + \frac{1}{V_x} \cdot (Q_x^{in} \cdot N_x^{in} - Q_x^{out} \cdot N_x) \\ \frac{\partial N_y}{\partial t} = -U_y \cdot \frac{\partial N_y}{\partial h} + \beta_{N2} \cdot \alpha \cdot (N_y^*(N_x) - N_y) + \frac{1}{V_y} \cdot (Q_y^{in} \cdot N_y^{in} - Q_y^{out} \cdot N_y), \end{cases}$$

где x_{in} , y_{in} – начальные концентрации урана в водной и органической фазах соответственно; N_x^{in} , N_y^{in} – начальные концентрации кислоты в водной и органической фазах соответственно.

Модель может компоноваться из верхней отстойной зоны (В03), нижней отстойной зоны (Н03) и экстракционной зоны с задающимся количеством ступеней по высоте. При моделировании процессов, наблюдаемых в экстракционной колонне, элементы рассчитываются последовательно на каждой итерации: В03, экстракционная зона, Н03, расчет показаний датчиков.

Упрощенный алгоритм расчета экстракционной ступени показан на рис. 1. Следует отметить, что расчет концентраций фаз по высоте идет одновременно в противоположных направлениях для лучшего учета граничных условий, налагаемых на каждое уравнение.

Для расчета скорости дисперсной фазы используются соотношения, приведенные в [2]. Равновесные концентрации получают путем интерполяции экспериментальных данных [8].

Поскольку коэффициенты массопередачи индивидуальны для каждого аппарата и изменяются по высоте, то они подбираются исходя из материального баланса

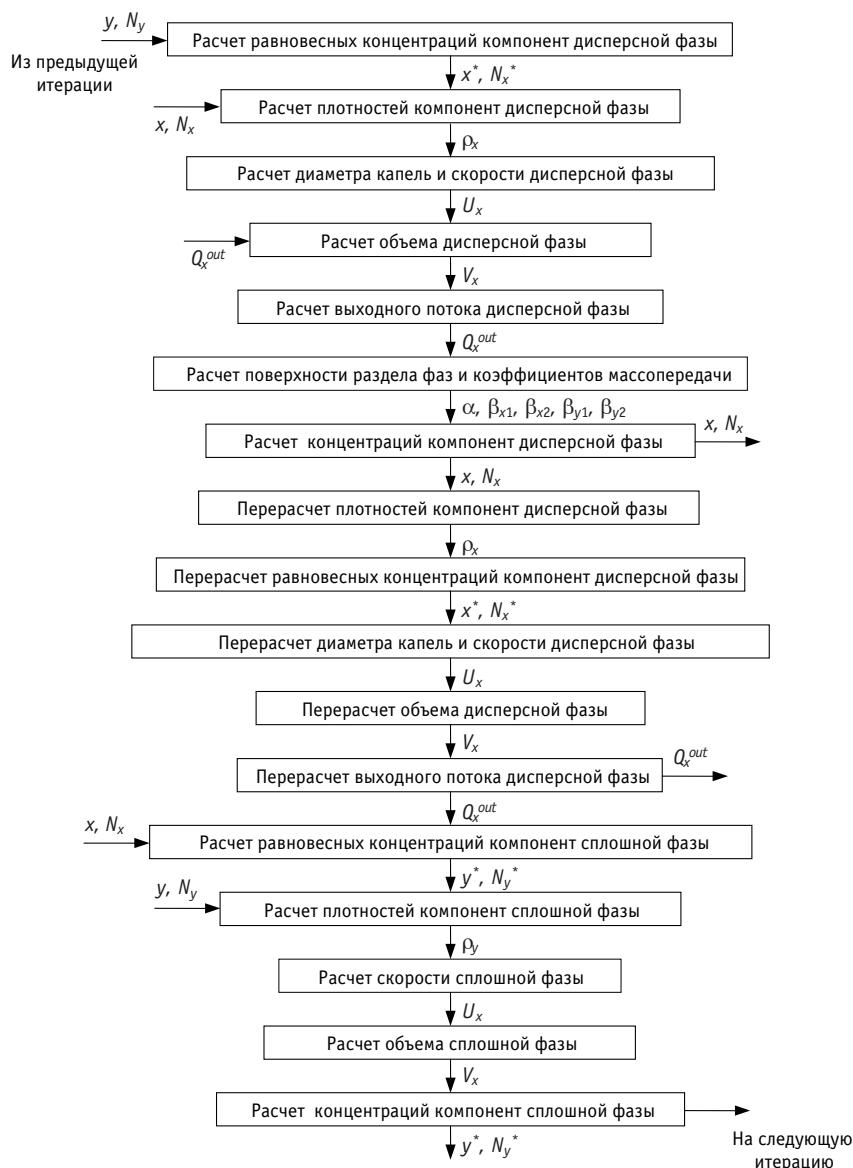


Рис. 1. Схема расчета экстракционной ступени

и предполагаемого распределения компонента в колонне. Расходы и объемы каждой из фаз рассчитываются с учетом принятых выше допущений.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ УРАНА В РАФИНАТЕ КОЛОННЫ ЭК-1

Для проверки адекватности модели реальной установке и для создания САУ была выбрана головная колонна ЭК-1 отделения второго цикла РХЗ СХК. Компоновка колонны и расположение в ней датчиков показаны на рис. 2.

В колоннах имеется возможность измерения

- средней плотности жидкости в колонне ρ_U (1), для чего в различных местах колонны в зависимости от типа протекающей реакции может встраиваться буйковый измеритель плотности;

- объема дисперсной фазы в колонне $L_{здф}$ (2); для этого в колонну врезаются измерительные сосуды, в верхней части которых установлены буйковые уровнемеры, позволяющие определять соответствующие веса столбов жидкости и их средние плотности (объем жидкости в колонне не изменяется); в свою очередь, средняя плотность в колонне пропорциональна объему (доле) дисперсной фазы, которую в литературе принято называть объемом дисперсной фазы или задержкой дисперсной фазы (ЗДФ) [1, 5];

- локальной концентрации металла в месте установки cU (3). Показатель концентрации металла позволяет контролировать концентрацию металла в режиме реального времени.

Проверка адекватности модели проводилась с помощью критерия Фишера и критерия Пирсона. Результаты моделирования соответствуют экспериментальным данным в более широком диапазоне изменения параметров, чем результаты, показанные в [7].

Экстракционная колонна относится к числу многосвязных объектов [2]. В таких объектах каждая выходная переменная зависит от двух и более входных величин. Для автоматического управления такими объектами применяют многоконтурные системы автоматического управления с использованием перекрестных связей [2]. В данной работе будут исследованы одноконтурные и каскадные САУ, поэтому необходимо выбрать такую выходную переменную, управление которой дало бы наилучшие показатели качества выходного продукта.

Проведя анализ входных переменных в колонне ЭК-1, выявили следующее:

- расход ОФ не может быть управляющей величиной, т.к. он задается для всего каскада; его изменение приведет к изменению режима работы, что недопустимо;
- расход ВФ может быть выбран как управляющая величина, к тому же в настоящее время он ею и является;
- состав ВФ подготавливается заранее, и концентрации урана и кислоты в ней невозможно менять оперативно, поэтому данные переменные также не удовлетворяют;
- стабилизировать амплитуду пульсаций достаточно сложно, поэтому эта переменная также не может быть управляющей.

Таким образом, управляющей величиной в колонне остается расход ВФ.

В колонне ЭК-1 имеется возможность контроля четырех параметров: уровень задержки дисперсной фазы в верхней части колонны и по всей колонне ($L_{зв}$, $L_{зн}$), плотность экстракта (определяющая концентрацию урана в экстракте – $cU^{ЭК}$) и концентрацию урана в средней части нижней экстракционной зоны (сравнима с концентрацией урана в рафинате – $cU^{РФ}$). В качестве управляемой переменной используем $L_{зв}$ ($L_{зн}$) или $cU^{РФ}$. $cU^{ЭК}$ не рассматривается, т.к. по использованию это-

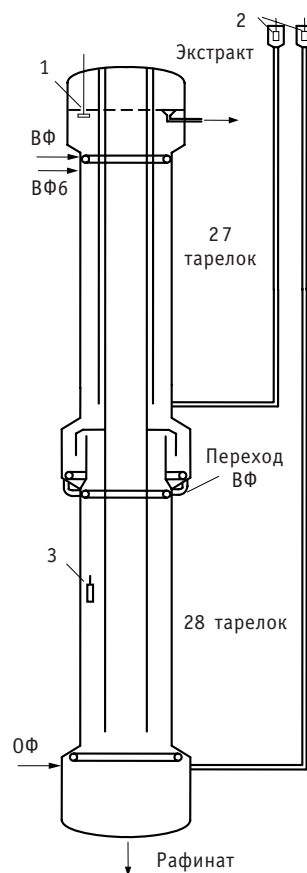


Рис. 2. Компоновка колонны и расположение в ней датчиков: ОФ – органическая фаза, экстрагент; ВФ – водная фаза, упаренный реэкстракт урана; ВФ6 – водная фаза, азотнокислый раствор от промывки насыщенного экстракта

го параметра проводились работы [9] на аналогичных колоннах, которые дали неудовлетворительные результаты.

В данном исследовании САУ разрабатывалась типовыми методами ТАУ [12,13] с использованием стандартных законов регулирования. Данные методы требуют, чтобы передаточная функция объекта управления была линейной. Однако математическая модель колонны является нелинейной вследствие того, что расчетные соотношения для нахождения коэффициентов входящих в ее состав уравнений содержат нелинейности, поэтому необходимо ее линеаризовать.

Анализ результатов линеаризации показывает, что при нелинейности 5% на статических зависимостях можно выделить линейные участки $\pm 10\%$ по расходу ВФ. Таким образом, имитационную модель головной колонны (нелинейную математическую модель) можно заменить на линейную в окрестностях рабочей точки $\pm 10\%$ по расходу ВФ с погрешностью не более 5%.

Для создания системы регулирования необходимо определить передаточные функции по расходу водной фазы, т.к. этот параметр является управляющим воздействием. По всем выходным переменным ТОУ можно заменить апериодическими звеньями второго порядка с разными постоянными времени и запаздыванием.

Выходной параметр L_{3H} не будет использован при создании САУ. По характеру реакции на изменение расхода ВФ он сравним с L_{3B} , но менее чувствителен и более инерционен.

Для повышения качества регулирования необходим переход от одноконтурных САУ к более сложным системам, использующим дополнительные (корректирующие) импульсы по возмущениям или вспомогательным выходным координатам. В данном случае использовалась каскадная САУ. Структурная схема каскадной САУ $cU^{P\Phi}$ представлена на рис. 3.

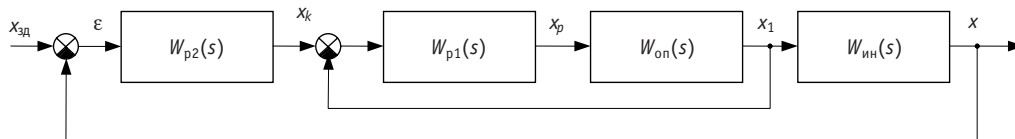


Рис. 3. Структурная схема каскадной САУ $cU^{P\Phi}$: $W_{p1}(s)$, $W_{p2}(s)$ – передаточные функции корректирующего и стабилизирующего регуляторов соответственно; $W_{on}(s)$ – передаточная функция опережающего участка объекта; $W_{ин}(s)$ – передаточная функция инерционного участка объекта

После приближенного определения настройки стабилизирующего регулятора переходим к определению настройки корректирующего регулятора, в контур которого входит регулятор с уже известными параметрами настройки [13].

Экспериментальное исследование САУ ЭК-1 проводится на компьютерной модели системы, разработанной в пакете Matlab/Simulink [14], и заключается в подаче управляющего и возмущающих воздействий и оценке по переходным процессам качества регулирования.

В результате анализа первых экспериментов было установлено что регулятор внутреннего контура каскадной САУ $cU^{P\Phi}$ и регулятор САУ ЗДФВ не применимы с полученными настройками. Такая система быстро выведет из строя исполнительный механизм, поэтому был снижен коэффициент регулирования для получения более плавного сигнала на выходе регулятора.

Результаты экспериментов представлены на рис. 4–7. Все скачки подавались в момент времени $t_0 = 1000$ с.

По сравнению с одноконтурными каскадная САУ $cU^{P\Phi}$ показала лучшие показатели качества при отработывании возмущения как по расходу ОФ, ВФб, так и по изменению концентрации урана в ВФ.

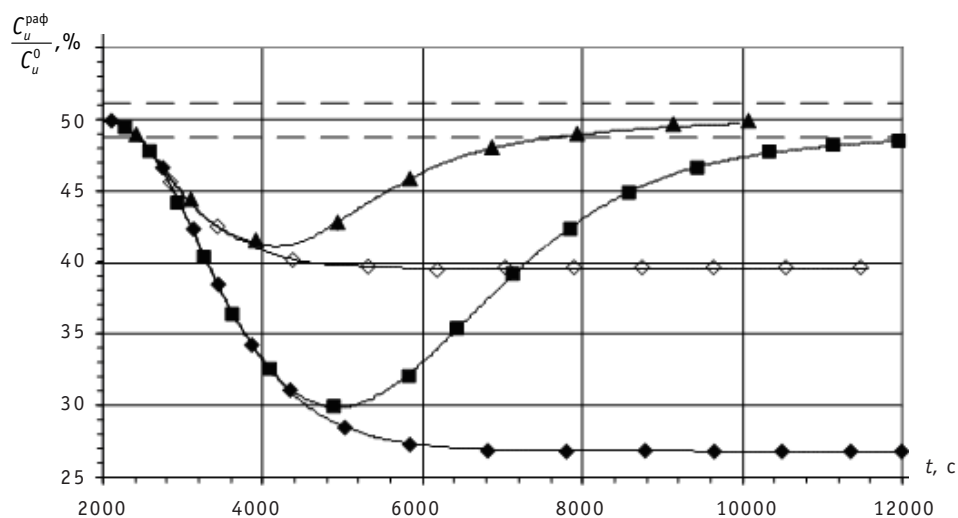


Рис. 4. Реакция ОУ на подачу 5-процентного возмущающего воздействия на расход ОФ, каскадной, одноконтурной САУ $Cu^{PФ}$ и САУ ЗДФВ: \blacklozenge – ТОУ; \blacktriangle – каскадная САУ; \blacksquare – одноконтурная САУ; \diamond – САУ ЗДФВ; — — — $\pm 5\%$

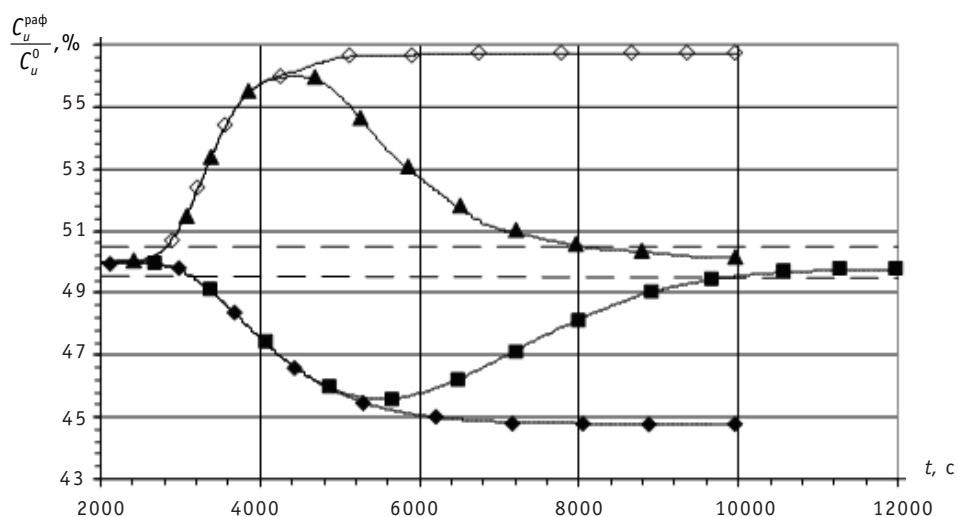


Рис. 5. Реакция ТОУ, каскадной, одноконтурной САУ $Cu^{PФ}$ и САУ ЗДФВ на 5-процентное возмущающее воздействие на концентрацию урана в ВФ: \blacklozenge – ТОУ; \blacktriangle – каскадная САУ; \blacksquare – одноконтурная САУ; \diamond – САУ ЗДФВ; — — — $\pm 5\%$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена динамическая многокомпонентная модель на основе решения переработанных уравнений конвективной диффузии с учетом принятых допущений. Процессы гидродинамики в колонне рассчитываются с использованием результатов работы [7].

При сравнении с данными реального аппарата модель показала адекватность в широком диапазоне изменения координат. На ее основе синтезирована САУ концентрации урана в рафинате ЭК-1.

Созданная система автоматизированного управления процессом экстракции

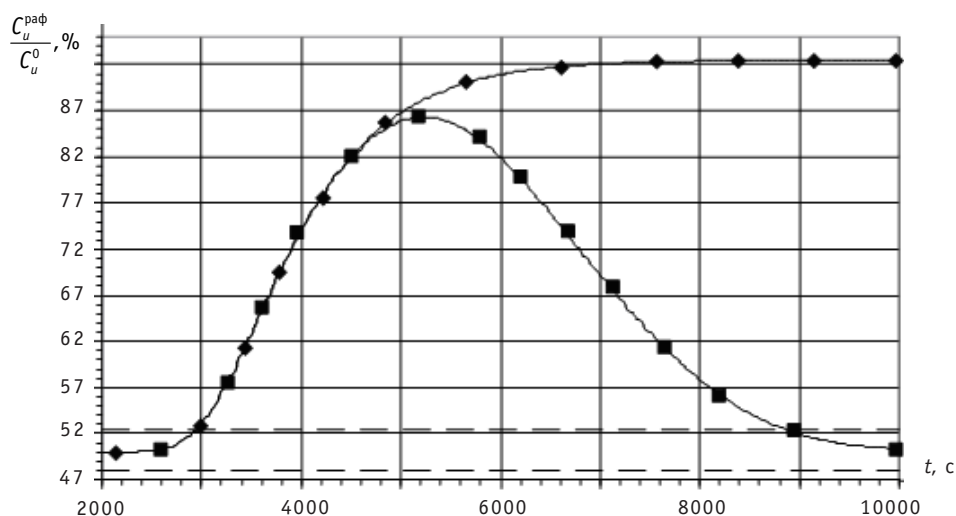


Рис. 6. Реакция ТООУ и одноконтурной САУ $Cu^{PФ}$ на 7-процентное возмущающее воздействие на расход ВФ6: \blacklozenge – ТООУ; \blacksquare – одноконтурная САУ; — — — $\pm 5\%$

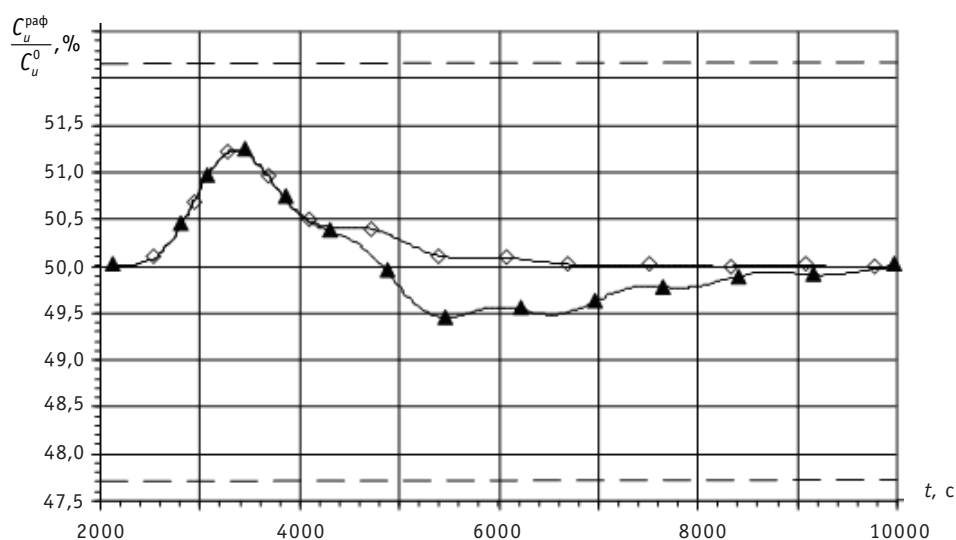


Рис. 7. Реакция каскадной САУ $Cu^{PФ}$ и САУ ЗДФВ на 7-процентное возмущающее воздействие по расходу ВФ6: \blacktriangle – каскадная САУ; \blacklozenge – САУ ЗДФВ; — — — $\pm 5\%$

позволит значительно улучшить технико-экономические показатели производства за счет увеличения степени чистоты выпускаемого урана и снижении количества урана в рафинате. САУ предложена к внедрению.

Итогом работы стало создание многокомпонентной универсальной модели, которая может быть использована для экстракционных колонн, работающих в различных режимах и с различными видами отработанного ядерного топлива.

Литература

1. Балашов А.А., Лоссиевский В.Л., Чернышев В.Н., Шваб А.Ф., Шелемин Б.В. Схемы и средства автоматизации радиохимических производств. – М.: Госатомиздат, 1963. – 187 с.
2. Карпачева С.М., Захаров Е.И. Основы теории и расчета пульсационных колонных реакторов. – М.: Атомиздат, 1980. – 256 с.

3. Фрэнкс Р. Математическое моделирование в химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 272 с.
4. Ливенцов С.Н., Лысенко А.А., Горюнов А.Г., Зеленецкая Е.П., Симогаев Г.А. Отчет по НИР по теме «Разработка систем управления узлами технологических процессов радиохимического завода». – Томск, 2004. – 56 с.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
6. Багров В.Г., Белов В.В., Задорожный В.Н., Трифонов А.Ю. Методы математической физики. Специальные функции. Уравнения математической физики. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: 1999. – 771 с.
7. Чурсин Ю.А., Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н. Система автоматизированного управления экстракционной колонной // Управление, вычислительная техника и информатика: Известия Томского политехнического университета. – Том 311. – № 5. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 149 с.
8. Справочник по экстракции. В 3-х т. / Под ред. д.х.н. А.М. Розена. Т. 1. Николотова З.И., Карташова Н.А. Экстракция нейтральными органическими соединениями. – М.: Атомиздат, 1976. – 600 с.
9. Пузиков Е.А., Зильберман Б.Я., Федоров Ю.С., Мишин Е.Н., Шмидт О.В., Голецкий Н.Д., Сытник Л.В. Разработка математической модели для расчета стационарных режимов экстракционных каскадов при переработке ОЯТ АЭС с использованием ТБФ-совместимых процессов (Суперпурекс) // Радиохимия. – Б.м. – 2004. – 46; № 2. – С. 136-143.
10. Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Лысенко А.А., Чурсин Ю.А. Математическое моделирование процесса экстракции урана как объекта управления: Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2007. – 151 с.
11. Трофимов А.И., Егупов Н.Д., Дмитриев А.Н. Методы теории автоматического управления, ориентированные на применение ЭВМ. Линейные стационарные и нестационарные модели. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 656 с.
12. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем автоматического регулирования с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 327 с.
13. Кулаков Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 134 с.
14. Дьяков В.П. MATLAB 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с.

Поступила в редакцию 26.12.2008

(*Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering*) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 12 titles.

The article is devoted to opportunity of application the methods of the Allium-test in radioecological monitoring. It is carried out biotestings of natural waters from territories of Obninsk regional radioactive repository. Ecological conditions is investigated and the estimation of potential danger to the natural environment is carried out. Results have shown, that negative biological effects are formed under influence of polluting substances in water of well located near to emergency capacity. For determination of the contribution radioactive components in formation of the biotests response are carried out additional modelling experiments. The estimation of radiosensitivity of an onions in a range of doses from 0,1 up to 2 Гр is given.

УДК 621.039.5

Development of Calculation Model and Analysis of Some Transition Processes in KLT-40S Reactor with SERPENT Code \P.E. Kaplar, I.S. Lisitsin, P.V. Markov, N.A. Marchikhina; Editorial board of journal «*Izvestia visshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*» (*Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering*) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 10 illustrations. – References, 5 titles.

Calculation model of KLT-40S reactor with concern of stationary and transition regimes of reactor by means of heat-hydraulic code SERPENT had developed. Results of calculation of stationary regime at the rated power level with code had compared with the reactors developers data, which indicates that calculation model was highly valid. Calculation analysis of transition regimes had performed. These transition regimes are: shutdown of 2 steam generators sections; shutdown of 2 circulation pumps of first circuit. The fact that position of control rods was invariable must be in parenthesis. Alterations of power, heat carrier temperature, fuels and dispersive fuel compositions coats had specified.

УДК 621.039.512

Spatial Neutron Kinetic Module of ROSA Code \A.L. Cherezov, N.V. Shchukin; Editorial board of journal «*Izvestia visshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*» (*Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering*) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 1 table. – References, 5 titles.

A spatial neutron kinetic module was developed for the computer code ROSA. The paper describes the numerical scheme used in the module for resolving neutron kinetic equations. Two methodologies (analytical integration and Gears method) were compared each other on their efficiency and accuracy. Both methodologies were verified on the test problems. The paper presents the results obtained in the verification studies.

УДК 621.039.59: 621.039.7

Control System of Extraction Column \A.G. Gorunov, Y.A. Chursin, K.V. Turetskov; Editorial board of journal «*Izvestia visshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*» (*Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering*) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 7 illustrations. – References, 14 titles.

The universal multicomponent model of extraction in pulsating Column was presented. Check of adequacy of model was made and the system of automated control by concentration of uranium in pulsating Column is synthesised.

УДК 621.183.371

Calculation of Main Joint of MCPA-1391 under Different Operation Conditions \A.A. Mukhlynin, V. I. Slobodchyk; Editorial board of journal «*Izvestia visshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*» (*Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering*) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 2 tables, 5 illustrations. – References, 4 titles.

Results of stress calculation of studs of the main joint of the main circulation pump MCPA-1391 both under steady state, and under transient conditions are presented. The thermal stress arising in the studs of the main joint under the warming up and under shut-down conditions are estimated. It is shown, that the thermal stress is an insignificant part of the total stress, and the total stress of the studs of the main joint does not exceed the limit value under all considered conditions.