

Отзыв официального оппонента на диссертацию

Морданова Сергея Вячеславовича

«Повышение эффективности процессов усреднения химического состава азотнокислых растворов урана радиохимического завода ПО «Маяк», представленную

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Актуальность избранной темы

Одним из продуктов переработки отработанного топлива атомных электростанций на радиохимическом заводе ПО «Маяк» является плав гексагидрата уранилнитрата, который получают путем упаривания растворов уранилнитрата после экстракционной очистки. При этом качество получаемого продукта напрямую зависит от подготовки раствора, которая заключается в усреднении концентраций компонентов раствора путем струйного перемешивания в течение более 25 часов в емкостях большого объема (250 м³).

Диссертационная работа Морданова С.В. посвящена численному моделированию методом конечных элементов процесса перемешивания раствора в приемных емкостях с целью повышения эффективности процесса усреднения состава раствора, поступающего на стадию упаривания. Учитывая большую продолжительность и высокое влияние данной стадии технологического процесса на качество выпускаемой продукции актуальность работы не вызывает сомнений

Целью работы является разработка практических рекомендаций по повышению эффективности процессов усреднения химического состава азотнокислых растворов урана радиохимического завода ПО «Маяк» при их подготовке к упариванию на основе исследований, проведенных с помощью численного моделирования гидродинамических процессов методом конечных элементов.

Для достижения поставленной цели соискателем сформулированы следующие задачи:

1. Модернизировать существующие математические модели для их применения в сочетании с методом конечных элементов при моделировании процессов усреднения химического состава азотнокислых растворов урана в процессе подготовке к упариванию. Выполнить проверку модернизированной математической модели.

2. Методом численного моделирования получить распределения концентраций урана, плутония, азотной кислоты, массовой доли ²³⁵U в объеме емкостей приема азотнокислых растворов урана радиохимического завода ПО «Маяк». Получить зависимости минимальных и максимальных отклонений данных характеристик от средних значений в объеме емкостей приема азотнокислых растворов урана от продолжительности подготовки к упариванию.

3. Определить причины недостаточной эффективности усреднения химического состава азотнокислых растворов урана при их подготовке к упариванию. Сформулировать способы и разработать технические решения по повышению эффективности процессов перемешивания.

4. На основе адаптированной модели получить распределения концентраций урана, плутония, азотной кислоты, массовой доли ^{235}U в объеме емкостей приема азотнокислых растворов урана и зависимости минимальных и максимальных значений и неусредненностей данных характеристик от продолжительности подготовки к упариванию с учетом предложенных технических решений по повышению эффективности процессов перемешивания.

5. Разработать регрессионные модели и графические материалы для инженерных расчетов процессов усреднения химического состава технологических растворов в условиях производства.

Новые результаты, полученные автором при оптимизации процесса усреднения состава в приемных емкостях, заключаются в следующем:

1. Модернизирована математическая «модель смеси» (mixture model). Модель дополнена разработанными моделями центробежных насосов и методикой расчета концентраций урана, плутония, азотной кислоты, массовой доли ^{235}U на основе результатов численного моделирования методом конечных элементов. На основании результатов экспериментальных исследований показано, что погрешность численного расчета по модернизированной математической модели составляет не более 8 – 12 %.

2. Методом численного моделирования впервые получены распределения концентраций урана, плутония, азотной кислоты, массовой доли ^{235}U в емкостях приема азотнокислых растворов урана и зависимости данных характеристик от продолжительности перемешивания. Показано наличие застойной зоны, занимающей до 50 – 66 % объема емкости приема.

3. Методом численного моделирования впервые получены распределения концентраций урана, плутония, азотной кислоты, массовой доли ^{235}U и определены зависимости данных характеристик от времени перемешивания в емкостях с дополнительным струйным и механическим перемешиванием. Установлено, что применение дополнительных перемешивающих устройств приводит к ликвидации застойной зоны в емкости: при использовании струйного перемешивания – за счет формирования тангенциального макромасштабного потока; при использовании механического перемешивания – за счет формирования нисходящих и восходящих осевых потоков.

Практическая значимость работы:

1. Предложенные автором технические решения позволяют повысить эффективность

процесса усреднения состава раствора, в частности, применение дополнительного струйного перемешивания позволяет сократить продолжительность подготовки к упариванию на 8 – 9 ч или увеличить долю раствора усредненного химического состава с 68 до 92%; применение дополнительного механического перемешивания позволяет сократить продолжительность подготовки к упариванию на 11 – 12 ч или увеличить долю раствора усредненного химического состава с 68 до 97 %.

2. Автором предложена конструкция и рассчитаны энергетические и технологические характеристики двухъярусного осевого механического перемешивающего устройства для интенсификации процессов усреднения химического состава азотнокислых растворов урана при полном и неполном заполнении емкостей приема, а также разработана методика расчета мощности привода этого устройства.

3. Автором разработаны регрессионные модели и графические материалы, описывающие изменение основных технологических показателей в процессе подготовки к упариванию азотнокислых растворов урана в емкостях радиохимического завода ПО «Маяк»

Успешность и практическая значимость предложенных автором усовершенствований процесса подготовки растворов уранилнитрата к упариванию подтверждена Актом о внедрении результатов работы на ПО «Маяк».

Личный вклад автора в работу заключается в разработке математических моделей и методик расчета, проведении экспериментов на лабораторном стенде для исследования процесса струйного перемешивания, обработке экспериментальных данных и систематизации результатов численных исследований.

Постановка цели и задач исследования, анализ результатов экспериментальных исследований и численного моделирования, разработка технических решений по повышению эффективности исследуемых процессов проведены совместно с научным руководителем доктором технических наук А. П. Хомяковым.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В основе использованной автором модели лежит решение системы уравнений Навье-Стокса для скорости течения, плотности и вязкости, усредненных по объемным долям компонентов смеси. При этом для численного расчета многокомпонентных потоков применена модель многокомпонентных смесей или «модель смеси», использование которой в данном случае обосновано, так как плотности и вязкости растворов, поступающих в емкости с экстракционного цикла, различаются не более чем на 1,5 – 2,5 %. Для учета турбулентных пульсаций технологических потоков автором использована стандартная k-ε модель турбулентности Лаундера и Сполдинга.

Для подтверждения теоретических представлений автором проводились лабораторные исследования процессов струйного и механического перемешивания, которые показали, что погрешность расчетов по модели не превышает 8-12%.

Дополнительная проверка адекватности модернизированных и разработанных математических моделей осуществлялась на основании экспериментальных данных других исследователей и на основании эксплуатационных данных радиохимического завода ПО «Маяк», причем погрешность моделирования не превышала 6-12%.

Научные положения и выводы, сделанные в диссертации, вполне обоснованы и не вызывают сомнений, поскольку базируются на экспериментальных и расчетных данных, для которых диссертантом дана квалифицированная научная интерпретация.

Достоверность исследований, результатов, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов расчетов основывается на квалифицированном использовании современных математических моделей движения жидкости, а также на экспериментальной верификации этих моделей. Следует отметить подробное изложение автором методического раздела, в котором описаны лабораторные эксперименты.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях: междисциплинарной молодежной научной конференции с международным участием «Информационная школа молодого ученого» (Екатеринбург, 2011 г.); Международной научно-технической конференции «СвердНИИхиммашу-70» (Екатеринбург, 2012 г.); Всероссийской междисциплинарной молодежной научной конференции «IV информационная школа молодого ученого» (Екатеринбург, 2014 г.).

Структура и объем работы

Рецензируемая работа общим объемом 154 стр. печатного текста состоит из введения, литературного обзора, методической части, четырех глав расчетной части, выводов и списка литературы. Она содержит 84 рисунка, 8 таблиц, список литературы насчитывает 130 наименований.

Публикации

По результатам исследований опубликованы 11 работ, в том числе: 2 статьи в журналах перечня рецензируемых научных изданий ВАК, 3 статьи в сборниках трудов и материалов, 2 тезиса докладов международных и всероссийских конференций, патент 118878 РФ на полезную модель, 2 статьи в научно-практическом журнале ПО «Маяк».

Общая характеристика работы

Работа характеризуется четко сформулированной целью исследования, для достижения которой было необходимо решить ряд расчетных и экспериментальных задач. На

всех этапах диссертационной работы Морданов С.В. проявил необходимую квалификацию и навыки научного работника.

В литературном обзоре описаны технологии переработки ОЯТ АЭС на заводе РТ-1 ПО «Маяк», с детальным рассмотрением стадии подготовки растворов уранилнитрата к упариванию. Также рассмотрены различные варианты организации перемешивания растворов и дано описание подходов к их моделированию с использованием современных численных методов.

Диссертация написана хорошим языком и характеризуется четкостью изложения материала. Рисунки и таблицы даны в необходимом для обоснования научных положений количестве, хорошо оформлены и способствуют лучшему пониманию существа работы.

Список литературы оформлен в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к научным публикациям.

Цели и задачи, поставленные в диссертации, полностью достигнуты. Результаты работы докладывались на 4-х российских и международных конференциях и представлены в 2 статьях в реферируемом журнале из перечня ВАК, а также в одном патенте РФ.

Автореферат и публикации автора полностью отражают содержание диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

Работа в целом лишена существенных недостатков. Представленные результаты, их достоверность и значимость не вызывают вопросов. Приведенные ниже замечания имеют преимущественно рекомендательный характер.

1. Автор справедливо замечает, что результат моделирования представляет собой частное решение системы дифференциальных уравнений, но нигде не приводит критерии достижения окончания расчета, не оценивает устойчивость полученных результатов по отношению к изменению расчетных параметров (модельных констант), принятых на основе литературных данных и собственных представлений. Например, в качестве количества узлов расчетной модели принято значение $2,3 \cdot 10^6$, что, примерно, соответствует 100 мл раствора в приемной емкости, но не объясняется, почему данное значение является оптимальным для данных условий.

2. В диссертации не указано, какой программный комплекс CFD-моделирования использовался автором для проведения расчетов, каким методом решались приведенные в работе системы уравнений, каким способом вводились исходные данные, какова продолжительность расчета и каким способом визуализировались его результаты, что не дает возможности оценить трудозатраты автора.

3. По результатам расчетов в работе делается вывод о том, что продолжительность подготовки технологических растворов к упариванию лимитируется временем усреднения

концентраций плутония и азотной кислоты в объеме емкости приема. Однако, приведенные в работе данные о концентрации плутония в приемных емкостях, вероятно, содержат систематическую погрешность, связанную чувствительностью метода определения концентрации плутония. Автор приводит значения концентраций плутония на уровне 10-20 мкг/л. Вместе с тем, выпускаемый заводом плав уранилнитрата согласно ТУ и ASTM содержит менее 2 мкг плутония на 1 кг урана, тогда как степень очистки от плутония на стадии упаривания раствора уранилнитрата и кристаллизации плава никак не превышает 3-4. По-видимому, концентрация плутония в приемных емкостях должна быть на 1,5 - 2 порядка ниже. Это может объясняться разницей в методиках пробоотбора, пробоподготовки и определения концентрации плутония, поскольку анализ раствора и готового продукта, очевидно, проводятся в разных лабораториях. Высказанное замечание не снижает ценности проведенных автором расчетов, а лишь призывает критически относиться к предоставленным экспериментальным данным.

4. В тексте диссертации не удалось избежать опечаток, в частности, в таблице 2.1 перепутаны значения погрешностей измерений объема и массы раствора.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что диссертация Морданова Сергея Вячеславовича «Повышение эффективности процессов усреднения химического состава азотнокислых растворов урана радиохимического завода по «Маяк», полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изм. и доп. от 21.04., 02.08.2016 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Морданов Сергей Вячеславович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.02 – Технология редких рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент

Канд. хим. наук по специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов, ст. науч. сотр. отделения прикладной радиохимии НПО АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»

_____ Пузиков Егор Артурович

05.05.2017

Почтовый адрес: 194021, Санкт-Петербург, 2-ой Муринский пр., 28.

Тел. +7-91

e-mail: egor_puzikov@mail.ru

Подпись руки Пузикова Е.А, заверяю.

Главный Ученый секретарь АО «РИ им. В.Г. Хлопина»




И.В. Смирнов