

Отзыв

официального оппонента д.т.н., профессора Орлова Алексея Алексеевича на диссертационную работу Маслюкова Евгения Владимировича «Методы расчета и оптимизации каскадов для разделения бинарной и многокомпонентной смесей изотопов урана», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Работа автора посвящена решению актуальных фундаментальных задач, связанных с совершенствованием теории разделительных процессов, в частности созданию новых методов расчета и оптимизации процесса разделения бинарной и многокомпонентной смесей изотопов урана в многопоточных каскадах газовых центрифуг, с другой стороны решению не менее актуальных, с точки зрения необходимости реализации замкнутого ядерно-топливного цикла, прикладных задач разработки новых способов восстановления изотопного состава регенерированного урана и очистки его от изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U , а также создания программ для обучения и повышения уровня квалификации оперативного персонала разделительных предприятий и студентов ВУЗов, готовящих специалистов по разделению изотопов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка основных обозначений, библиографического списка, включающего 86 наименований, пяти приложений и содержит 128 страниц, 19 рисунков и 26 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор и анализ литературных данных по известным модельным каскадам для разделения бинарной и многокомпонентной смеси изотопов. Описаны известные способы расчета и оптимизации этих каскадов, недостатки существующих моделей и методов.

БХ №05-19/1-132
от 19.03.2017

Представлен обзор* и анализ существующих методов дообогащения регенерированного урана. Показана актуальность разработки новых методов расчета и оптимизации каскадов, которые будут лишены недостатков известных методов.

Во второй главе представлено описание математической модели и разработанного метода оптимизации каскада газовых центрифуг для разделения бинарной смеси изотопов урана. Их особенностью, в отличие от опубликованных ранее, является возможность расчета каскада с несколькими потоками питания при заданном количестве газовых центрифуг в ступенях. Приведено описание, пример реализации и перечень задач разработанной для компьютерного тренажера программы «Каскад газовых центрифуг» по обучению оперативного персонала разделительных производств. Для расчета и оптимизации системы каскадов газовых центрифуг разработан метод, использующий матричное описание связей ступеней в общей схеме. Система нескольких каскадов представлена одним каскадом со сложной схемой соединения ступеней. Для расчета введена общая нумерация всех ступеней каскадов, входящих в систему. Представлены результаты численного моделирования.

В третьей главе описаны разработанные методы аналитического расчета состава изотопов урана в оптимальных многопоточных каскадах для разделения многокомпонентных смесей. Первый метод применим для оценки концентрации минорных (примесных) изотопов урана в многопоточных каскадах, оптимизированных на обогащение ^{235}U , второй – для оценки концентрации регенерированного урана в каскадах, оптимизированных на обогащение одного из изотопов: ^{232}U , ^{234}U , ^{235}U или ^{236}U . Приведены результаты расчета параметров таких модельных каскадов. Представлены разработанные модель, способ численного расчета и оптимизации каскадов с произвольным количеством потоков питания и отбора по срезам парциальных потоков. Приведены примеры численной оптимизации

каскадов на максимальную разделительную способность, в том числе при заданной концентрации целевого изотопа.

В четвертой главе представлены разработанные способы каскадного восстановления изотопного состава регенерированного урана, использующие модели и методы расчета, описанные в третьей главе. Для оценки эффективности каждого из представленных методов приведены результаты сравнительных расчетов, которые получены с использованием созданной программы «Миноры». Данная программа может также применяться для обучения оперативного персонала разделительных предприятий.

В заключении сформулированы выводы по диссертации.

Научная новизна и научная ценность рассматриваемой диссертационной работы подтверждается следующими результатами:

Разработаны: численные методы расчета и оптимизации каскадов газовых центрифуг для разделения бинарной смеси изотопов урана в многопоточных каскадах; программа «Каскад газовых центрифуг» для обучения персонала разделительных предприятий на компьютерном тренажере; метод оптимизации систем каскадов газовых центрифуг для разделения бинарной смеси изотопов урана на основе матричного описания связей ступеней в общей схеме; аналитический метод оценки состава многокомпонентной смеси природного урана в многопоточном каскаде, оптимизированном по ^{235}U ; аналитический метод оценки содержания многокомпонентной смеси регенерированного урана в многопоточном каскаде, оптимизированном по одному из изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U ; численный метод расчета и оптимизации каскадов с произвольным количеством потоков питания и отбора по парциальным потокам компонентов смеси; способ очистки регенерированного урана от примесных изотопов в дополнительном потоке отбора R -каскада; запатентованный способ очистки регенерированного урана от изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U в двойных каскадах с одновременной наработкой низкообогащенного урана из природного; способ очистки регенерированного урана от примесных

изотопов в дополнительном отборе каскада с использованием на втором питании природного или отвального урана; программа «Миноры», использованная для расчета и оптимизации каскадов по разделению многокомпонентной смеси изотопов урана. На способ очистки регенерированного урана от изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U в двойных каскадах получен патент РФ № 2613157 от 15.03.2017 г.

Практическая ценность результатов исследований подтверждена справками об их использовании в АО «Сибирский химический комбинат» при проведения технологических расчетов и при проведении практических занятий на курсах повышения квалификации, в Отделении ядернотопливного цикла Национального исследовательского Томского политехнического университета при подготовке магистров направления «ядерные физика и технологии по профилю «Изотопные технологии и материалы», на кафедре Молекулярной физики НИЯУ МИФИ при подготовке студентов направления «Технологии разделения изотопов и ядерное топливо» по профилю «Технологии разделения изотопов». Созданный компьютерный тренажер, применялся также для обучения технологического персонала разделительных производств в АО «Уральский электрохимический комбинат», АО «Ангарский электролизный химический комбинат», АО «ПО Электрохимический завод».

Разработанные методы очистки регенерированного урана могут быть эффективно использованы на разделительных предприятиях отрасли.

Кроме того, полученные результаты вносят определенный вклад в развитие теории процесса разделения двух и многокомпонентных изотопных смесей в каскадах газовых центрифуг и позволяют оптимизировать его параметры. Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы в ОАО «Уральский электрохимический комбинат» (г. Новоуральск), в АО «Производственное объединение Электрохимический завод» (г. Зеленогорск), АО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск), АО «Ангарский электролизный химический комбинат» (г. Ангарск), в НИЯУ МИФИ (г. Москва), в УрФУ (г. Екатеринбург), в НИ ТПУ (г. Томск).

Достоверность приведенных в работе результатов, обоснованность положений и выводов подтверждается корректностью постановки задач, обоснованностью принятых приближений, использованием надежных методов моделирования, хорошо зарекомендовавших себя для решения задач подобного класса, обоснованностью сделанных допущений, проверкой используемых методов на сходимость и устойчивость решений; выполнением закона сохранения массы при численном решении; сходимостью результатов численных расчетов с результатами аналитических решений и данными других авторов; широкой апробацией полученных результатов.

Основное содержание диссертации отражено в 14 печатных работах, в том числе 8 статьях в журналах, индексированных в международных системах цитирования Scopus и Web of Science, 4 докладах на научных конференциях, 1 руководстве пользователя компьютерной программой и 1 патенте.

В целом по работе можно сделать следующие замечания:

1. 1. В диссертации и автореферате не отражен личный вклад автора.
2. В главе 2 диссертации приведены формулы расчета параметров каскада, а сама методика расчета каскадов описана не в полном объеме, поэтому не ясно как эти расчеты проводились, что затрудняет их проверку.
3. Автор приводит много вариантов расчетов и результатов оптимизации каскадов, выполненных по разрозненным тематикам. К сожалению, в диссертации не приводится детальный анализ представленных результатов (графиков, таблиц, например, таблиц 3.1 и 3.2), поэтому сложно их структурировать.
4. В разделе 3.4.1 необоснованно используется потенциал разделения многокомпонентной изотопной смеси определенного вида. В настоящее время предложено около десятка интерпретаций и способов его вычисления,

однако ни один из них не является общепринятым, как это имеет место в теории разделения двухкомпонентных изотопных смесей.

5. В главе 4 диссертации не приведено сравнение предложенных автором схем восстановления изотопного состава регенерированного сырья с известными способами по интегральным параметрам (затраты работы разделения, затраты природного и регенерированного сырья на единицу получаемого очищенного продукта и т.д.), что затрудняет сделать заключение о целесообразности/перспективности использования предложенных схем.

6. По оформлению диссертации и автореферата имеются следующие замечания:

- Почти половину списка литературы составляют публикации научного руководителя, тогда как в обзорной главе не рассмотрены «свежие» публикации других авторов по теме.
- Индексы ступеней в тексте обозначены разными буквами i , j , f ; транзитный поток буквами τ и W , хотя W обозначение потока отвала.
- Фамилии разработчиков теории разделения и методов расчета приведены без инициалов.
- Автором используются словосочетания, не являющиеся общепринятыми: содержание многокомпонентной изотопной смеси, вместо состава; слабообогащенный регенерированный уран, вместо низкообогащенный.
- В формулах и тексте диссертации имеются опечатки. Номера и названия рисунков иногда приведены над самими рисунками.
- В ряде случаев использованы несистемные единицы измерения (г, т).

Указанные замечания не носят принципиального характера и не меняют общей положительной оценки работы.

Автореферат по своему содержанию и выводам соответствует диссертации.

Тема диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации, п. 1. Моделирование нейтронно-физических, химических, тепловых, гидравлических и механических процессов, создание программных комплексов, обеспечивающих расчетное обоснование облика и безопасного функционирования объектов ядерной техники, п. 3. Разработка методов расчета технологических процессов в объектах ядерной техники с целью оптимизации их характеристик, повышения надежности оборудования и систем, п. 5. Разработка методов управления сроком службы объектов ядерной техники.

Оформление диссертации отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Считаю, что диссертация Маслюкова Евгения Владимировича выполнена на достаточно высоком научном уровне, является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной по актуальной теме, в ней решены важные фундаментальные и прикладные проблемы, представлены научно-обоснованные решения, внедрение которых имеет большое значение для развития объектов атомной энергетики и обеспечения замкнутости ядерно-топливного цикла.

Обобщая результаты анализа диссертационной работы Маслюкова Е.В. следует отметить, что она отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней УрФУ, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Официальный оппонент – профессор Отделения ядерно-топливного цикла Инженерной школы ядерных технологий федерального государственного

автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
доктор технических наук (01.04.14 – Теплофизика и теоретическая
теплотехника) Алексей Алексеевич Орлов
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, НИ
ТПУ, тел. +7(3822) 606333, tpu@tpu.ru.

Подпись А.А. Орлова удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ



Я, Орлов Алексей Алексеевич, даю согласие на включение своих
персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации
Евгения Владимировича Маслюкова, и их дальнейшую обработку.