

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВОЙНЫХ КАСКАДОВ АЛГОРИТМОМ ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ГЕКСАФТОРИДА УРАНА ОТ ИЗОТОПОВ $^{232, 234, 236}\text{U}$

В.А. Палкин, Е.В. Маслюков, С.С. Лубнин

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия*

Предложена схема двойного каскада для снижения концентрации изотопов $^{232, 234, 236}\text{U}$ в регенерированном гексафториде урана. В отборе первого ординарного каскада, обогащенном по ^{235}U до концентрации менее 20%, обеспечивается наибольшее снижение отношения масс $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$. Для этого определен специальный режим работы ступеней. Во втором ординарном каскаде, питанием которого является отбор первого, производится обогащение по $^{232, 234}\text{U}$. Отвальный поток, очищенный от $^{232, 234}\text{U}$, разбавляется до концентрации ^{235}U менее 5%. Приведена методика расчета параметров каскадов с коэффициентами разделения ступеней, которые характерны для газовых центрифуг. На ее основе проведен вычислительный эксперимент. Показано, что полученный после разбавления продукт по изотопам $^{232, 234}\text{U}$ удовлетворяет требованиям спецификации ASTM C996–20 для обогащенного промышленного гексафторида урана. Содержание ^{236}U в нем в несколько раз меньше, чем при прямом обогащении регенерированного гексафторида урана.

Ключевые слова: регенерированный уран, двойной каскад, численная оптимизация, газовые центрифуги.

Введение

Накопление регенерированного урана, полученного из облученного топлива ядерных легководных реакторов, ставит ряд практических проблем, требующих решения. Одной из них является повторное использование регенерированного урана для воспроизводства ядерного топлива. Концентрация основного делящегося изотопа ^{235}U в нем выше, чем в природном уране [1]. Однако присутствуют вредные изотопы $^{232, 234, 236}\text{U}$, затрудняющие его использование. Изотопы $^{232, 234}\text{U}$ в низкообогащенном уране (концентрация ^{235}U менее 5%) существенно ухудшают радиационную обстановку при изготовлении ядерного топлива. Повышенное содержание в топливе ^{236}U приводит к росту доли нейтронов, участвующих в реакции радиационного захвата. Данный эффект требует компенсирующего увеличения концентрации ^{235}U . Для снижения концентрации $^{232, 234, 236}\text{U}$ разработаны различные методы разделения регенерированного гексафторида урана в каскадах и операции разбавления [2–8]. Они имеют определенные достоинства и недостатки. К последним относятся обогащение регенерированного урана до высокой концентрации ^{235}U более 90%, использование природного и отвального урана на дополнительном питании каскадов, а также низкообогащенного продукта в качестве разбавителя. Общим недостатком является несоответствие требованиям для обогащенного промышленного гексафторида урана, которые определяются международной спецификацией ASTM C996–20.

В настоящей работе для снижения концентраций $^{232, 234, 236}\text{U}$ в регенерированном гексафториде урана предложена схема двойного каскада. В первом ординарном каскаде регенерированный гексафторид урана обогащается по ^{235}U . Параметры каскада выбираются из условия наибольшего снижения отношения масс $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$. Его отбор подается во второй ординарный каскад, который обогащается по изотопам $^{232, 234}\text{U}$. Отвал каскада, очищенный от $^{232, 234}\text{U}$, имеет концентрацию ^{235}U , близкую к питанию. Он разбавляется до концентрации ^{235}U менее 5%. Продукт после разбавления имеет существенно лучшее содержание $^{232, 234, 236}\text{U}$ по сравнению с прямым обогащением регенерированного гексафторида урана. В обоих каскадах концентрация ^{235}U не превышает 20%, соответствующих международным нормам по обращению с делящимися материалами. Отбор второго каскада представляет собой загрязненный продукт, который подлежит разбавлению до ядерно-безопасной смеси. Проведен вычислительный эксперимент, показавший эффективность метода. Параметры каскадов рассчитывали с помощью методики [9] при коэффициентах разделения, характерных для газовых центрифуг. Ее особенностью также является возможность задания индивидуальных параметров ступеней.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>