

Imię i nazwisko / stopień Dominik Böhm, M.Sc.

Tytuł rozprawy doktorskiej (czcionka pogrubiona)

Nuclear fuel recycling by distillation-based separation

promotor: stopień/tytuł naukowy/imię i nazwisko

prof. dr hab Zbigniew Konrad Czerski

promotor pomocniczy: stopień/tytuł naukowy/ imię i nazwisko

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Od początku komercyjnego wykorzystania energii jądrowej kwestia utylizacji odpadów jądrowych pozostaje w dużej mierze nierozwiązana. Obecnie proponowane metody recyklingu, takie jak procesy ekstrakcji ciecz-ciecz, wykorzystują liczne rozpuszczalniki lub są nadal nieskuteczne i nieprzyjazne dla środowiska. W niniejszej rozprawie opracowano koncepcję separacji dla opartego na destylacji ponownego przetwarzania wypalonego paliwa jądrowego przy użyciu chlorowania i destylacji. Podejście to obejmuje również oczyszczanie gazów odlotowych i recykling cyrkonowych materiałów okładzinowych.

Walidacja modelu destylacji i odpowiednich jednostek separacji została przeprowadzona na reprezentatywnych uproszczonych mieszaninach testowych przy użyciu samodzielnie napisanego kodu Octave, który nie wymaga żadnych krytycznych danych dotyczących składników mieszaniny, zamiast tego symulacje oparto na prawie Raoult'a stosującym parcjalne ciśnienia pary. Wyniki numeryczne procesu destylacji porównano z wynikami uzyskanymi z modeli ChemSep, popularnego oprogramowania do symulacji kolumn destylacyjnych. Zarówno wyniki samodzielnie napisanego kodu Octave, jak i modelu ChemSep wykazały dobrą zgodność ze sobą.

Zaproponowano nowatorską konstrukcję kolumny destylacyjnej, przystosowaną do bezpiecznego procesu recyklingu jądrowego, odmiennej niż powszechnie stosowana w przemyśle chemicznym. Wyniki symulacji całego schematu procesu wykazały bardzo dobrą separowalność zużytego paliwa jądrowego składającego się z co najmniej 95% molowych czterochloru uranu, ale także wielu innych składników, takich jak trójchlorek plutonu i lżejsze produkty rozszczepienia. Proponowana metoda recyklingu może być stosowana na terenie elektrowni jądrowej, a także w specjalnych zakładach zewnętrznych. Całkowite wykorzystanie odpadów wypalonego paliwa jądrowego jest możliwe w ciągu 65 lat w sześciu zakładach separacji zaprojektowanych w ten sposób. Przedstawiona koncepcja jest szczególnie odpowiednia dla reaktorów na paliwo ciekłe, takich jak reaktor dwupływowo, dla których możliwe jest przetwarzanie on-line. Co więcej, metoda ta może być również wykorzystywana do odzyskiwania bardzo cennych pierwiastków ziem rzadkich.

Data, podpis

23-06-2023
Dominik Böhm

słowa kluczowe w języku polskim (odpowiedniki słów kluczowych w języku angielskim).

Destylacja, odpady promieniotwórcze, recykling, zużyte paliwo jądrowe, separacja produktów rozszczepienia i aktywności

Distillation, nuclear waste, recycling, spent nuclear fuel, separation of fission products and actinides.

Summary of the doctoral dissertation

Since the beginning of the commercial use of nuclear energy, the issue of disposal of nuclear waste has remained largely unsolved. Currently proposed recycling methods, such as liquid-liquid extraction processes, use numerous solvents or are still ineffective and environmentally unfriendly. In this thesis, a separation concept has been developed for a distillation-based reprocessing of spent nuclear fuel using chlorination and distillation. This approach also includes downstream waste gas treatment and recycling of zirconium cladding material.

Validation of the distillation model and relevant separation units was performed on representative simplified test mixtures using Octave self-written code, which does not require any critical mixture component data, instead simulations were based on Raoult's law applying partial vapor pressures. The numerical results of the distillation operation were compared with those obtained from ChemSep models, a common software for simulation of distillation columns. Both the results of the self-written Octave code and the ChemSep model showed good agreement with each other.

An innovative construction of a distillation column was proposed, adapted to a safe nuclear recycling operation, different from the one commonly used in the chemical industry.

The results of the simulation of the entire process scheme showed very good separability of the used nuclear fuel consisting of at least 95 mole % uranium tetrachloride, but also many other components, such as plutonium trichloride and lighter fission products. The proposed recycling method can be used at the nuclear power plant site as well as in special external plants. Complete consumption of the spent nuclear fuel waste is possible within 65 years with six separation plants designed in this way. The concept presented is especially suitable for liquid fuel reactors, such as the Dual Fluid Reactor for which on-line reprocessing is possible. Furthermore, the method can also be used to recover very valuable rare earth elements.

Data, podpis

27.06.2023
Dimitri Boan