

G21C 7/06 (2006.01)
G21C 7/04 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2018-742
(22) Přihlášeno: 27.12.2018
(40) Zveřejněno: 08.07.2020
(Věstník č. 28/2020)
(47) Uděleno: 08.02.2023
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 22.03.2023
(Věstník č. 12/2023)

(56) Relevantní dokumenty:
US 3849248; EP 2242063; US 4564498; CA 1183613; GB 1056950.

(73) Majitel patentu:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ
Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, Jižní
Předměstí, CZ
(72) Původce:
doc. Ing. Radek Škoda, Ph.D., Liberec, Liberec II-
Nové Město, CZ
Ing. Michal Zeman, Praha 2, Vinohrady, CZ
(74) Zástupce:
Ing. Václav Kratochvíl, Husníkova 2086/22, 158 00
Praha 5, Stodůlky

(54) Název vynálezu:
**Vyhořívající absorbátor pro jaderný
reaktor**

(57) Anotace:
Vyhořívající absorbátor pro jaderný reaktor je tvořen
kombinací prvků samarium a iridium, přičemž
hmotnostní koncentrace samaria v absorbátoru je v
rozmezí 5 až 95 %, s výhodou v rozmezí 30 až 85 % a
ještě výhodněji v rozmezí 60,1 až 79,9 %.

Vyhořívající absorbátor pro jaderný reaktor

Oblast techniky

5

Vynález se týká dlouhodobé regulace reaktivity v reaktoru pomocí vyhořívajících absorbátorů, které mají jak regulační, tak bezpečnostní funkci.

10 Dosavadní stav techniky

Vyhořívající absorbátory jsou v různých podobách používány v současné době ve všech komerčně provozovaných energetických lehkovodních (PWR, BWR, VVER) a těžkovodních (CANDU) jaderných reaktorech. Vyhořívající absorbátory kompenzují počáteční přebytek reaktivity v reaktoru, která je způsobena čerstvým palivem, a proto umožňují částečné prodloužení palivového cyklu použitím paliva s vyšším obohacením. Z hlediska vyhořívání absorbátoru rozlišujeme rychlý a pomalý vyhořívající absorbátor. Rychlý absorbátor lépe kompenzuje na počátku kampaně, ale poměrně rychle vyhoří, např.: Gd. Pomalý absorbátor hůře kompenzuje na počátku, ale vydrží do vyšších vyhoření, např.: Dy. Dlouhodobá regulace není jediným úkolem vyhořívajícího absorbátoru, zároveň také může přispět k negativnímu teplotnímu koeficientu reaktivity chladiva. Zejména u lehkovodních reaktorů s použitím kyseliny borité v chladivu. Dnes se jako nejčastější absorbátory používají prvky gadolinium (Gd), bór (B), europium (Eu), erbium (Er) a dysprosium (Dy). Důvod použití těchto prvků je, že mají vysoký absorpční průřez pro neutrony a následně po zachytu neutronu se přemění na prvek s malým absorpčním průřezem, toto lze také nazývat vyhořívání absorbátoru. Tento proces je žádoucí, neboť s postupným vyhoříváním paliva klesá i přebytek reaktivity, tudíž není potřeba tak velká absorpce neutronů jako na začátku kampaně, tj. na začátku doby pobytu paliva v jaderném reaktoru. Proto je rychlost vyhořívání jedním z hlavních kritérií pro výběr prvku, který by mohl sloužit jako vyhořívající absorbátor.

30

V současné době se vyhořívající absorbátory používají ve dvou provedeních, integral burnable absorber (IBA) s podprovedením integral fuel burnable absorber (IFBA) a burnable poison rod assembly (BPRA). První jmenovaný je homogenní směs paliva (UO_2) a vyhořívajícího absorbátoru (Gd, Er atd.) zpracovaná do formy palivových pelet.

35

Tuto formu absorbátoru používají lehkovodní reaktory PWR, BWR i VVER s výjimkou reaktorů od firmy Westinghouse, a dále i těžkovodní reaktory CANDU. Reaktory od firmy Westinghouse používají podprovedení IBA, tzv. IFBA, v tomto případě je tenká vrstvička – setiny milimetru, absorbátoru (ZrB_2) nanášená na vnější povrch palivové pelety. Druhou možností vyhořívajícího absorbátoru je provedení BPRA, v takovém případě je absorbátor ve formě tyče, která je vložena do vodící trubky pro regulační klastry. Pro reaktory PWR je možné použít oba druhy vyhořívajících absorbátorů, avšak BWR reaktory mohou používat pouze IBA absorbátor.

U současných absorbátorů je největší problém nelinearita kompenzace přebytku reaktivity. Zpravidla je na začátku potřeba kompenzace největší a následně by měla klesat s vyhoříváním paliva. Avšak dnes absorbátory kompenzují na počátku kampaně nedostatečně a na konci, kde už je žádoucí mít kompenzaci nulovou, stále ještě zachytávají neutrony. Tento problém je jeden z důvodů, proč není možné přejít na vyšší vyhoření paliva, tj. vyšší využití. Odstraněním tohoto nedostatku by bylo možné prodloužení kampaně paliva, lepšímu využití paliva a zároveň lepší ekonomice paliva. Při použití oxidu gadolinia (Gd_2O_3) ve formě IBA jako vyhořívajícího absorbátoru dochází ke zmenšení tepelné vodivosti paliva a současně se také snižuje teplota tavení paliva. Obě tyto změny musí být brány v potaz při řešení bezpečnostních výpočtů. U použití absorbátoru ve formě IFBA se neovlivňují materiálové vlastnosti paliva, na druhou stranu je problémový hygroskopický charakter zirkonia, tzn., že prudce reaguje s vodní párou za vzniku

oxidu zirkoničitého, vodíku a velkého množství tepla, toto je nebezpečné zejména při havarijních stavech reaktoru.

5 Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody vyhořívajících absorbátorů používaných v jaderných reaktorech odstraňuje vyhořívající absorbátor složený ze dvou prvků, v tomto případě samarium a iridium, připravený jako homogenní směs paliva a absorbátoru, tzv. integral burnable absorber (IBA).

10

Použitím absorbátoru podle tohoto vynálezu umožňuje snížit nelinearitu kompenzace reaktivity, reaktivita je na počátku kampaně kompenzována dostatečně a následně kompenzace klesá až ke stavu bez vyhořívajícího absorbátoru. Absorbátor taktéž napomáhá vyrovnat koeficient nevyrovnání, který je jedním z licenčních podmínek. Zároveň je odstraněna velká nelinearita kompenzace mezi jednotlivými překládkami paliva, jak lze vidět na obr. 2. Na počátku kampaně je při použití tohoto absorbátoru multiplikační faktor, tj. poměr mezi počtem neutronů současné generace N_i a generace předchozí N_{i-1} , při stálém výkonu je roven 1, téměř roven 1, dále stoupá až do hodnoty přibližně 1,13 a poté klesá ke stavu bez použití absorbátoru. Toto je výrazné zlepšení proti např. gadoliniovému absorbátoru, který se používá v dnešní době. Zvyšování multiplikačního faktoru v několika prvních krocích kampaně se dá kompenzovat kyselinou boritou, dnes běžně používaný rozpustný absorbátor neutronů. Díky tomu, že v tomto absorbátoru nefiguruje zirkonium, odstraňuje se také problém s hygroskopickým charakterem zirkonia.

25

Objasnění výkresů

Vynález bude dále ilustrován pomocí obr. 1 a obr. 2, které zobrazují průběh koeficientu násobení s absorbátorem podle tohoto vynálezu a bez absorbátoru v průběhu palivového cyklu. Obr. 1 zobrazuje průběh koeficientu násobení pro celkové využití paliva v elektrárně, a obr. 2 ilustruje použití paliva s VA a bez VA při 3-letém palivovém cyklu, zde je vidět rapidní pokles maximálního koeficientu násobení mezi výměnami paliva a celkové ustálení průběhu koeficientu násobení.

35 Příklady uskutečnění vynálezu

Navrhovaným vynálezem je kompenzace počáteční reaktivity obohaceného paliva vyhořívajícím absorbátorem složeného z kombinace prvků samarium a iridium. V předloženém řešení je kupříkladu zvolena optimální koncentrace prvků v hmotnostním poměru 64 % samaria a 36 % iridia. Toto konkrétní řešení je z neutronového hlediska ideální. Kompenzace reaktivity je na počátku kampaně dostatečná a následně se postupně blíží stavu bez absorbátoru. Celková hmotnostní koncentrace absorbátoru v palivu bude 0,1382 %, což je přibližně 0,74 kg v jednom palivovém souboru jaderného reaktoru EPR. Absorbátor může být vyroben jako kombinace oxidů a kovů, např.: oxidu samaria Sm_2O_3 a kovového iridia.

45

Při použití této směsi, dojde díky kovovému iridiu ke zvýšení tepelné vodivosti paliva, což je výhodné z hlediska bezpečnosti.

50 Průmyslová využitelnost

Výše uvedený vynález vyhořívajícího absorbátoru tvořeného kombinací prvků samarium a iridium může být využit pro kompenzaci reaktivity v jaderném reaktoru. Zejména se toto řešení dá použít u lehkovodních reaktorů PWR, BWR, VVER a taktéž u těžkovodních reaktorů

CANDU. Toto řešení přispívá k lepšímu využití paliva, lepší ekonomice a také prodloužení kampaně.

PATENTOVÉ NÁROKY

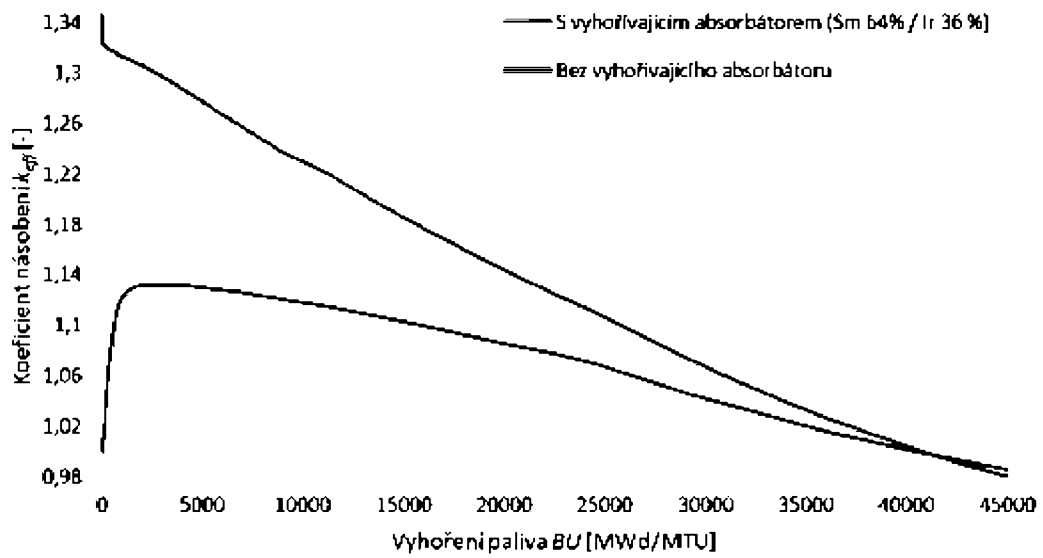
1. Vyhořívající absorbátor pro jaderný reaktor, **vyznačující se tím**, že je tvořen kombinací prvků samarium a iridium, přičemž hmotnostní koncentrace samaria v absorbátoru je v rozmezí 5 až 95 %.

5 2. Vyhořívající absorbátor pro jaderný reaktor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že hmotnostní koncentrace samaria v absorbátoru je v rozmezí 30 až 85 %.

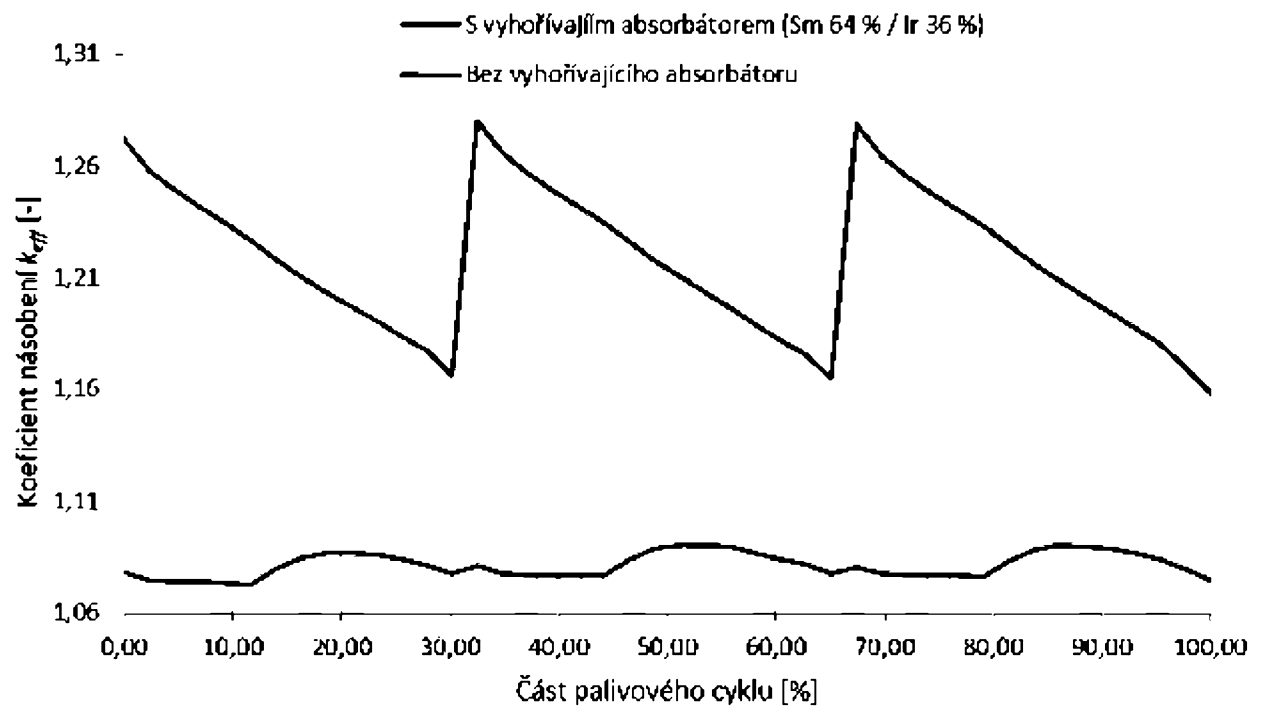
3. Vyhořívající absorbátor pro jaderný reaktor dle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že hmotnostní koncentrace samaria v absorbátoru je v rozmezí 60,1 až 79,9 %.

10

2 výkresy



Obr. 1



Obr. 2