

Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-0123-12**Neutronické analýzy rýchleho plynom chladeného reaktora**Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Ján Haščík, PhD.**

Príjemca

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, FEI STU v BA
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

- 1.
- 2.
- 3.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

- 1.
- 2.
- 3.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. Optimization of the heterogeneous GFR 2400 control rod design, Progress in Nuclear Energy, 1.2.2017, Čerba, Štefan -- Vrbán, Branislav -- Lüley, Jakub -- Nečas, Vladimír -- Haščík, Ján, s. 170—181, ISSN 0149-1970
2. Cross section adjustment for fast reactor design: ATCROSS code and its application, Annals of Nuclear Energy, 13.9 2017, Vrbán, Branislav -- Lüley, Jakub -- Čerba, Štefan -- Osuský, Filip -- Kim, Sang Ji, s. 928-940
3. Advanced Fast Reactors: Proceedings of the Scientific Conference, Jún 24 – 26, 2015, Štrbské pleso, Slovensko, J. Vajda, I. Jamnický, J. Lüley, B. Vrbán, ISBN 978–80-227-4373-0
4. Assessment of the Reactivity Effects of Gas Cooled Fast Reactor, Contribution to the

International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles: Next Generation Nuclear Systems for Sustainable Development (FR17), 2017, Lüley, Jakub – Vrban, Branislav – Čerba, Štefan – Haščík, Ján, elektronický zdroj

5. Investigation of the Performance of the GFR2400 Reactivity Control System in the Equilibrium Cycle, Proceedings of 26th International Conference Nuclear Energy for New Europe (NENE 2017), v tlači, Čerba, Štefan – Vrban, Branislav – Lüley, Jakub – Haščík, Ján – Nečas, Vladimír, elektronický zdroj

Uplatnenie výsledkov projektu

Dosiahnuté výsledky môžeme rozdeliť do niekoľkých kategórií na základe ich uplatnenia v nadväzujúcich výskumno-vývojových aktivitách súvisiacich s technológiou rýchlych plynom chladených reaktorov. Prvú a z akademického hľadiska najzákladnejšiu kategóriu tvoria odborné publikácie, ktoré v rámci realizácie projektu slúžili na prezentáciu dosiahnutých čiastkových výsledkov a ich konfrontáciu s odbornou verejnosťou. Okrem pravidelných výstupov na domácich odborných konferenciách, ako je APCOM (Applied Physics of the COndensed Matter) a Energetika, ktoré tvorili základ pre prezentovanie dosiahnutých výstupov pre domácu, ale aj zahraničnú odbornú verejnosť, bolo publikovaných niekoľko odborných príspevkov aj na zahraničných konferenciách a v medzinárodných recenzovaných a karentovaných časopisoch. Nakoľko nositeľom výskumu reaktora ALLEGRO sú krajiny Vyšegrádskej štvorky, uplatnenie výsledkov prezentovaných na konferenciách je možné očakávať práve v Stredoerópskom regióne, avšak ako citácie ukazujú, záujem o dosiahnuté výsledky je aj z iných krajín v rámci a mimo Európskej únie. Z hľadiska relevancie realizovaných výskumno-vývojových aktivít je za najväčší úspech možné považovať akceptovanie výsledkov riešiteľského kolektívu na významných vedeckých konferenciách FR17 (International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles) a ND2016 (International Conference on Nuclear Data for Science and Technology). Zároveň výsledky a navrhované prístupy dosiahnuté v rokoch 2015 a 2016, týkajúce sa bezpečnostných pasívnych systémov, boli zaslané do Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE) vo Viedni a po zapracovaní príspevkov od členov príslušnej pracovnej skupiny budú tvoriť súčasť dokumentu IAEA NES Technical Report s názvom "Passive Shutdown Systems for Fast Neutron Systems". Druhú kategóriu dosiahnutých výsledkov, z hľadiska ich nasledujúceho uplatnenia, tvoria vytvorené výpočtové modely reaktorov GFR2400 a ALLEGRO, ako reprezentantov technológie plynom chladených rýchlych reaktorov. V rámci realizácie projektu sa pristúpilo k niekoľkým modifikáciám a návrhom častí aktívnej zóny, medzi ktoré je možné zaradiť vlastný návrh heterogénneho dizajnu regulačného systému reaktora GFR2400, vrátane návrhu umožňujúceho vkladanie prídavného moderátora do objemu regulačnej kazety, s cieľom zvyšovania jej efektívnosti a s potenciálom zníženia nákladov spojených s výrobou absorpčných elementov. Za ďalší inovatívny návrh je možné považovať pasívny bezpečnostný systém reaktora GFR2400 pracujúci na princípe odstránenia časti reflektora a využívajúci mechanizmus neutrónovej pasce. Okrem uvedených prvkov boli pomocou vytvorených modelov a modifikácii aktívnych zón vykonané aj analýzy zamerané na optimalizáciu efektov reaktivity reaktora GFR2400. Nakoľko vytvorené návrhy už boli prezentované odbornej verejnosti, je možné očakávať uplatnenie navrhovaných postupov dizajnérmi reaktorov GFR2400 a ALLEGRO pri reálnom návrhu komponentov aktívnych zón a bezpečnostných systémov. Do tretej kategórie uplatniteľnosti dosiahnutých výsledkov projektu v nadväzujúcich výskumno-vývojových aktivitách je možné zaradiť vytvorenú viacskupinovú dátovú knižnicu účinných prierezov optimalizovaných pre rýchle a presné deterministické výpočty reaktorov GFR2400 a ALLEGRO. V rámci vývoja metodiky tvorby optimalizovanej knižnice účinných prierezov boli vytvorené aj automatizované procedúry napomáhajúce skrátiť celkový čas prípravy samotnej knižnice. Uvedená knižnica má vysokú uplatniteľnosť pri vykonávaní parametrových štúdií a optimalizácií AZ uvedených návrhov reaktorov nielen riešiteľským kolektívom, ale aj inými výpočtovými skupinami pracujúcim v tejto oblasti. Počas realizácie tejto výskumnej aktivity bol zaznamenaný záujem zahraničných výskumných organizácií o pripravenú knižnicu. Poslednú kategóriu výsledkov tvoria výpočtové nástroje vytvorené v rámci riešenia projektu na jednotlivých úlohách. Ide hlavne o kódy ŠTUUP a PORK, umožňujúce analýzu citlivosti a upravy účinných prierezov pre ľubovoľný rýchly, ale aj tepelný reaktor. V rámci jednotlivých výskumných aktivít boli

vytvorené automatizačné procedúry a programy na grafickú interpretáciu dosiahnutých výsledkov. Medzi tie programy patrí napríklad kód DIFRES umožňujúci vykresľovanie rôznych parametrov aktívnych zón. Nakoľko realizácia výskumných aktivít počas projektu prebiehala v úzkej spolupráci s odbornou komunitou, je možné očakávať medzinárodnú akceptovateľnosť a uplatniteľnosť dosiahnutých výsledkov, ktorá sa prejaví nielen formou citácií prezentovaných výstupov, ale aj nadväzujúcimi výskumnými aktivitami tímov na Slovensku a v zahraničí.

CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Hlavným výskumným cieľom projektu bolo štúdium bilancie neutrónov aktívnej zóny perspektívnych plynom chladených reaktorov ALLEGRO a GFR2400 z pohľadu bezpečnostných systémov, vyhárania a zmien izotopického zloženia paliva, v neštandardných krízových stavov, transmutačných schopností minoritných aktinoidov a určenia zdrojov a povahy pridružených neistôt. Cieľ projektu bol úspešne naplnený, o čom svedčí bohatá publikačná činnosť riešiteľského kolektívu zahrňujúca 3 CC články a 55 zahraničných a domácich odborných príspevkov. V rámci rôznorodých analýz boli navrhnuté modifikácie AZ perspektívnych reaktorov z hľadiska spätnoväzobných efektov, bol navrhnutý inovatívny dizajn regulačných orgánov s využitím moderátorov, bola predstavená idea pasívneho systému manažmentu reaktivity s využitím neutrónovej pasce v reflektore AZ, bola ohodnotená podobnosť systémov so stávajúcimi experimentami a boli čiastočne identifikované a kvantifikované zdroje neistôt vplyvajúce na výpočet jadrovo-fyzikálnych parametrov. Počas riešenia projektu boli obhájené 3 dizertačné práce, 1 inžinierska diplomová práca a niekoľko rozsahovo menších bakalárskych záverečných prác. Na pracovisku ÚJFI projekt umožnil sprevádzkovať špecializované softvéry pre výpočet neutrónovej bilancie AZ, prípravu jadrových dát a následné spracovanie výsledkov. Počas riešenia špecializovaných problémov boli vyvinuté domáce výpočtové kódy ŠTUUP a PORK, ako aj automatizačné a vyhodnocovacie nástroje. Z prostriedkov projektu bol modernizovaný a významne rozšírený výpočtový výkon pracoviska. Tento výpočtový systém tvorí dnes základ výpočtového systému dostupného na ÚJFI.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The main research goal of the project was to study the neutron balance of the prospective gas-cooled ALLEGRO and GFR2400 cores from the viewpoint of safety systems, burnup and fuel isotopic changes, non-standard crisis states, minor actinides transmutation capabilities and determination of sources of associated uncertainties. The project's goals have been successfully fulfilled, as evidenced by rich publishing activity of the team of researchers including 3 CC articles and 55 foreign and domestic scientific contributions. Within the framework of various analyzes, modifications of the cores designs of prospective reactors have been proposed in terms of feedback effects; an innovative design of control and safety devices was developed with utilization of moderator materials; a concept of a reactivity management passive system actuating in the core reflector was presented using neutron trap; the similarity of systems with the existing experiments was evaluated; and finally sources of uncertainties affecting the calculation of nuclear-physical parameters were identified and quantified. Three dissertations, one master's thesis and several smaller bachelor's theses were defended during the project duration. At the INPE, the project allowed to develop specialized software package used for the calculation of the neutron core balance. This package is also allowing nuclear data processing and is helpful for the subsequent post processing of the calculated results. To solve the specialized problems, the home computational codes ŠTUUP and PORK, as well as the automation and evaluation tools were developed. The project's enabled the upgrade and significant expansion of the hardware available at institute. The new computing system now serves as the basis of the computing system available at the INPE.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

Zodpovedný riešiteľ

doc. Ing. Ján Haščík, PhD.

V Bratislave 23. 10. 2017

Štatutárny zástupca príjemcu

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec

V Bratislave 23. 10. 2017

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu