

ЕДНА ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ЯДРЕНА ЕНЕРГИЯ**С.В. Лозанова, М.Л. Ралчев, А.Й. Иванов, Ч.С. Руменин**

*Институт по роботика при Българска Академия на Науките
ул. “Акад. Г. Бончев”, бл.2, София 1113, България
E-mail: lozanovasi@abv.bg*

ONE POSSIBILITY FOR OBTAINING NUCLEAR ENERGY**S.V. Lozanova*, M.L. Ralchev, A.J. Ivanov, C. S. Roumenin**

*Institute of Robotics at Bulgarian Academy of Sciences
“Acad. G. Bonchev” Str., Bl.2, Sofia 1113, Bulgaria*

** Corresponding author: lozanovasi@abv.bg*

Abstract

For the first time, a technology and a device for obtaining nuclear energy by high hydrostatic pressure have been proposed. The device contains a small reactor filled with heavy water and salts of uranium ${}_{92}\text{U}^{235}$ or plutonium ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ dissolved in it. The reactor includes a cylindrical thick-walled hydrostatic pressure chamber of beryllium steel with a cylindrical channel along its length, not reaching its bottom. There is also a piston whose diameter is the size of the channel. The piston is pressurized with a high uniaxial stress. The external energy introduced by the press into the chamber results in a controlled chain reaction. As a result, the emission of neutrons and beta rays (electrons) increases. The reactor is placed in a shell with a heat exchanger and a circulating water stream which is converted into steam. This drives a turbine that generates electrical current. Key applications of the new technology and small nuclear device are the long-term power supply of robots and the domestic consumption of energy resources.

Keywords: nuclear energy; chain reaction; hydrostatic pressure; thick-walled chamber with channel; press.

ВЪВЕДЕНИЕ

Получаването на ядрена енергия за целите на икономиката се дължи на откритието на О. Хан и Ф. Щрасман през 1938 г. Първопричина за техния ефект е, че заловеният неутрон от ядрото на урана води до неговото деление приблизително на две равни части с отделяне на топлинна енергия. Процесът се мултиплицира, в резултат на което възниква незатихваща верижна реакция. Например, в блок от чист уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ или плутоний ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ всеки заловен от ядрото неутрон предизвиква вибрации и спонтанното му деление с изпускане на 2 нови неутрона. За икономическо предназначение от първостепенна важност са системите, съдържащи уран или плуто-

ний, в които протича контролирана незатихваща реакция на деленето на радиоактивния материал. Именно такива реактори се използват като източници на електрическа енергия. Съоразенията за получаване на ядрена енергия са със съществени размери, изискващи подходящи геоложки, хидроложки и сеизмични условия. Времевият период от проектирането до завършването и международното узаконяване на тези съоразения изисква до 25 години. Ето защо характерна тенденция в конструирането на ядрените реактори е редуцирането на техните размери и съкращаването на срока за пускане в експлоатация.

Известни са малки модулни устройства за производство на ядрена енергия. Най-общо те съдържат цилиндричен

стоманен реактор, с разположен от вътрешната му страна отражател на неутрони. В активната зона на реактора има тънкостенни идентични по размери тръби от неръждаема и топлоустойчива стомана. Всяка от тези тръби се състои от друга двойка тръби с фиксирани диаметри – външна и вътрешна, разположени симетрично и на разстояние една в друга. Кухината между всяка двойка тръби е затворена херметично и в нея са пресовани соли на уран $^{92}\text{U}^{235}$ или плутоний $^{94}\text{Pu}^{239}$. Общото количество на радиоактивните соли в реактора малко надвишава критичната маса - минималното количество уран $^{92}\text{U}^{235}$ или $^{94}\text{Pu}^{239}$, след което верижната реакция на спонтанно делене на ядрата не затихва. Двойките тръби са разположени в среда от графит или тежка вода, контролирано забавящи отделящите се спонтанно в урана или плутония неутрони. Всички тръби в реактора формират вътрешен контур, разположен в обграждащ ги кожух с циркулиращ охлаждащ воден поток при налягане от 160 atm. Топлината от верижната реакция се извежда от реактора чрез топлообменник във външен паров контур като парата привежда в действие турбина, генерираща електроенергия, [1 - 13].

Някои от ограниченията на това модулно устройство за ядрена енергия е усложнената конструкция поради множеството идентични двойки тръби от неръждаема стомана и херметично пресования там уран $^{92}\text{U}^{235}$ или плутоний $^{94}\text{Pu}^{239}$. Това изисква във всяка кухня на двойките тръби поставяне с максимално висока точност на едно и също количество радиоактивен материал. Проблем, свързан с надеждността на реактора е възникването понякога на спонтанно неконтролируемо леко ускоряване или забавяне на ядрената реакция с поява в топлообменника на нежелани малки вибрации с променлива амплитуда. Това е все още неизяснен напълно инженерно-физичен процес. При аварийни ситуации е наложително безопасно прекъсване на ядрената реакция. Това се осъществява с екстрено извеждане от реактора на тръ-

бите с уран/плутоний или спускане в реакторната зона на други цилиндрични тела от графит, забавящи ядрената реакция. Тази процедура обаче изисква определено време, което не винаги се постига.

В настоящата статия е описано нов тип модулно устройство за ядрена енергия с опростена конструкция и повишена надеждност на реактора. Най-същественият елемент на системата е, че за получаване на ядрената енергия за първи път в световната практика се предлага това да става с високо хидростатично налягане.

ОПИСАНИЕ НА УСТРОЙСТВОТО И ТЕХНОЛОГИЯТА

а) Устройство за ядрена енергия

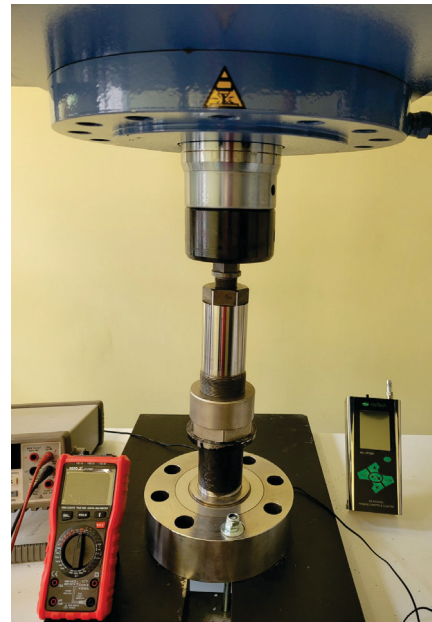
На Фигура 1 е показана основната част на новото ядрено устройство. Модулната конфигурация съдържа реактор с отражател на неутрони, запълнен с тежка вода и разтворени в нея соли на уран $^{92}\text{U}^{235}$, плутоний $^{94}\text{Pu}^{239}$ или полоний. Реакторът от своя страна включва цилиндрична дебелостенна камера за високо хидростатично налягане до около 700 000 atm,. Има още цилиндричен по дължината ѝ канал. Той не достига до дъното на камерата. Съотношението на външния диаметър d_{ext} към този на камерата d_{int} е $d_{\text{ext}}/d_{\text{int}} \geq 4.50$. В канала има цилиндрично бутало с диаметъра на канала. То е под деформационен едноосен натиск с преса за високо налягане и мултипликатор, Фигура 2. Каналът е полиран и е отражателят на неутроните.



Фиг. 1. Дебелостенната камера и част от съпътстващите я компоненти

Реакторът е поставен в кожух, обграждащ реактора с циркулиращ в него воден поток при налягане от около 160 atm, преминаващ през топлообменник, превръщайки водата в пара. Тя привежда в действие турбина, генерираща електроенергия, [14]. Материалът, от който са реализирани камерата за високо хидростатично налягане и буталото е берилиева стомана, която след определени процедури за повишаване на якостта е с коефициент над 60 Roq.

В проектираната постановка за изследване на хидростатичното налягане върху процесите на верижната ядрена реакция се изисква специализирани измервателни инструменти и компоненти. Тук ще се спрем обаче върху апаратурата, свързана с новата технология за използване на хидростатично налягане за въздействие и управление на верижната ядрена реакция. Налягането се осъществява със съвременна автоматизирана хидравлична преса модел Bernardo ВНР 200 с максимален натиск $F \sim 250$ t. Налягането F плавно се регулира в режими на нарастване и намаляване, както и поддържане на фиксирана стойност на деформацията $F \approx \text{const}$. Пресата е екипирана с електронен ма-нометър тип Sika с цифрова индикация и точност 0.1 %. Изходът на манометъра показва едноосното натоварване на буталото и камерата в реактора с хидравличната преса. В допълнение се прилага прецизна апаратура с интегрален тензо-датчик тип Laumas до 100 t при точност 0.1%, снабдена с цифров индикатор. Вместо разтворени соли на уран в тежка вода, верификацията на камерата сме осъществили с равни части трансформаторно масло и керосин.



Фиг. 2. Тестване с преса Bernardo на камерата за високо хидростатично налягане

б) Методология на верижната реакция

Технологичното действие на малкото модулно устройство за получаване на ядрена енергия включва следните етапи. Състоянието на ядрените реактори се характеризира с коефициент K на размножаване на неутроните, определен с израза $P = (K-1)/K$. За възможните режими на реактора са характерни следните стойности: а) ако $K(t) > 1$ – верижната реакция нараства с времето t и реакторът е в надкритично състояние като $P > 0$; б) ако $K(t) < 1$ – реакторът затихва и това означава, че той е под критично състояние и е в покой, $P < 0$; и в) ако $K(t) \approx 1$, $P \approx 0$ – броят на ядрените деления е постоянен във времето t като реакторът е в стабилно критично състояние и това е т.н. „златно” състояние на реактора за добив на ядрена енергия. Условието за критичност на ядреното устройство е в съответствие с формулата $K = K_0A = 1$, където A е частта от образувалите се в реактора неутрони, които се поглъщат в активната зона т.е. в камерата, а K_0 е коефициент на размножаване на неутроните. Установено е, че под действие на неутроните ядрата на уран 235 или плутоний 239 се делят на две, включващи по-

ловината от своята маса и 0.5 от електричния си товар. По-детайлно реакцията протича съгласно следния алгоритъм. Ядрото на урана или плутония залавя един неутрон; ударът на неутрона в ядрото се съпровожда с неговата вибрация при нарастваща амплитуда; след това ядрото се разделя на две части като се изпускат два-три неутрона. Тази реакция протича със съществено отделяне на топлинна енергия. Най-съществената част на този размножителен процес е фактът, че неутроните, които се изпускат при деленето предизвикват делене на други нови ядра като това разцепване на атомите е в геометрична прогресия, [9,13]. В резултат се осъществява верижна незатихваща реакция – веднъж възникнала, тя продължава от самосебе си. Предпочитането на уран 235 и плутоний 239 в ядрената енергетика е, че те се делят под действие на бързи и бавни неутрони с произволна енергия. Практиката е доказала, че е по-добре ако собствената енергия на неутроните е по-малка, така те въздействат по-ефективно на ядрата. Освен това реакцията на делене не затихва при условие, че масата на радиоактивния материал е достатъчно голяма. В новото решение, Фиг. 1 и Фиг. 2, неутроните са задържати в активната част на камерата в резултат на подходящо полираната ѝ вътрешна повърхност. Функционирането на реактора с бавни (топлинни) неутрони се постига чрез солите на уран 235 или плутоний 239 в тежка вода, която забавя и контролира верижната реакция. При необходимост могат да се разтворят графитови частици.

в) Ядрена технология чрез хидростатично налягане

В предложеното устройство за първи път в ядрената енергетика се използва аналогия между една нова закономерност, констатирана и изследвана в ИР-БАН и НЦК “QUASAR” – генерация на частици в нехомогенни структури - скали, различни консистенции бетон и др. и

управлението на верижна реакция чрез хидростатика, [14-17]. При този ефект се осъществява от една страна сближаване на атомите и молекулите, а от друга – разкъсват се електростатичните връзки между атомите. Процесът води до реструктуриране на атомните конфигурации, включително на метали като уран или плутоний. Механичният едноосен натиск на буталото в камерата за хидростатично налягане, Фиг. 2, се съпровожда едновременно с уплътняване на тежката вода и сближаване на атомите на солите (кълъстерите) на радиоактивния материал. Така се въздейства върху количеството на излитащите неутрони от атомите, съпроводено с поглъщането им от други ядра. Фактически във фракциите на уран 235 или плутоний 239 всеки заловен от ядрата неутрон предизвиква делене с изпускане на 2-3 нови неутрони. В случая за първи път е налице предпоставка верижната реакция да се управлява чрез хидростатично налягане. В случая по-съществени са некомпенсираните електростатични сили, участващи в ядрения процес при структурното разкъсване. Ето защо с нарастване на едноосното налягане F , трансформирано в камерата в хидростатично, повече неутрони участват във верижната реакция. Регулирайки налягането в камерата се достига до „златното” състояние на реактора: $K \approx 1$, $P \approx 0$. Броят на ядрените деления практически е постоянен във времето t и ядрената реакция е в стабилно критично състояние. Ако се продължи уплътняването на тежката вода с радиоактивния материал, най-вероятно настъпва състояние, при което $K > 1$. Верижният процес нараства с времето t и реакторът може да изпадне в опасно надкритично положение, $P > 0$. Обаче ако веднага се изключи пресата и се снее налягането F върху буталото, се постига бързо състоянието $K < 1$, и реакторът затихва. Следователно той е извън критичен режим, $P < 0$. Използването на тежка вода е за забавяне на лавинния ефект в солите на уран ${}^{235}\text{U}$ или плуто-

ний ${}_{94}\text{Pu}^{239}$. Описаната технология и прототипът на устройството следва да бъдат реално апробирани.

ОСОБЕНОСТИ НА ЯДРЕНОТО УСТРОЙСТВО И ТЕХНОЛОГИЯТА

Едно от предимствата на модулното устройство за ядрена енергия е опростената му конструкция. Отпадат множеството идентични двойки тръби, запълнени с уран ${}_{92}\text{U}^{235}$ или плутоний ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ и отсъства високотехнологична среда, забавяща отделящите се спонтанно в радиоактивния материал неутрони. Преимущество също е високата надежност на устройството, тъй като евентуалното възникване на неконтролируемо ускоряване или забавяне на ядрената реакция с поява в парогенератора на вибрации е драстично редуцирано от принципа на действие на технологията. Процесът на делене на урана се инициира с високо хидростатично налягане, което при необходимост винаги може да се елиминира с екстрено разтоварване на пресата. Също така камерата допуска множество цикли на зареждане с уранови ${}_{92}\text{U}^{235}$ соли. В случай на авария или прекъсване на електрозахранването, срещани случаи в ядрената енергетика, верижната реакция ще се прекрати. Управлението на пресата чрез контролери ще разтовари максимално бързо създаденото високо налягане, деленето на радиоактивния материал преминава в състояние $K < 1$ и реакторът затихва.

Конструкцията на новото устройство е значително опростена, отпадна необходимостта от идентични двойки тръби, пресоване на уран или плутоний и използване на специална среда. След отработване на горивото, дебелостенната камера е готова за ново запълване и многократна експлоатация. Силно намелените размери на модулното ядрено устройство и управлението на верижната реакция с хидростатично налягане повишава сигурността на системата. Допълнителна гаранция за сигурността е, че системата може да се разположи в

сондаж с диаметър около 0.75 m и дълбочина под водния хоризонт на почвата, около 1500 m или в забои на изоставени мини. При евентуална авария такива локации лесно се капсулират и не замърсяват околната среда.

В предложения реактор получаването на крайния продукт - електроенергията е по обичайния способ. Камерата (реакторът) е поставена в кожух с циркулиращ воден поток при високо налягане (до около 160 atm), преминаващ през топлообменник, отдаващ топлината си на вода, превръщайки я в пара, която чрез турбина генерира електричество, [1,5,9,11,13]. Както при всички ядрени мощности, материалите, от които е изграден малкият реактор следва да са изключително качествени, тъй като те работят при висока температура и в поле от неутрони, алфа, бета и гама лъчи, и фракции от делението. Предложеният в конструкцията берилиев бронз или берилиева стомана от една страна задържа неутроните, а от друга е изключително здрав метален композит. Освен това той е радиационно устойчив. Налични са множество модификации на преси, но основното изискване е да се генерира чрез мултипликатор достатъчен натиск за инициране на верижната реакция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Иновативността на предложеното устройство е, че на основата на ново физично явление – генерация на частици при високи едноосни деформации на нехомогенни структури, включително радиоактивни материали – уран, плутоний, полоний, амераций и др., за първи път в ядрената технология верижната реакция стартира и се управлява чрез високо хидростатично налягане. Този процес се лесно контролира и е с повишена сигурност. Освен множеството инженерни предимства, резултатът е екологичен като значително са минимизирани опасностите от ядрено замърсяване. Малките модулни реактори, аналогични на представения по-горе, са съществено по-

евтини, времето за монтаж, изграждане и узаконяване е съкратено. Постигане на мощност от около 300 MW е реализируема за страни като България. До сега експериментално са апробирани камерата, действието ѝ при високи едноосни налягания и контролерите. Съдържанието на активната зона на реактора може да бъде заменено с уран в прахообразно състояние. Подложен на високи едноосни деформации в камерата, атомите на метала в такова състояние също се сближават, въздействайки на верижната реакция. Цялостното тестване на предложената технология и устройството може да се осъществи единствено под контрол на съответни институции. Новите модулни устройства могат да се използват в автономните работи, въздушните и подводните дроне и др.

Резултатите са получени в лабораториите на Националния център за компетентност "QUASAR", № BG 16RFPR002-1.014 -0008.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Small nuclear reactor, NuScale Power, <https://selectel.ru/blog/nuscale-power>; USA. 2021.
- [2] Blaser RU. Nuclear power plant. US Patent № US2998363 A1/29.08.1961.
- [3] TransAtomic power corp, Wo Patent, № Wo2014039641 A2/13.03.2014.
- [4] Meshik AP. The working of an ancient nuclear reactor. Scientific American, Nov: 2005.
- [5] Babcock & Wilcox Co. US Patent № US2998363 A1/29.08.1968.
- [6] NuScale Power LLC. US Patent № US 2016148709 A1/26.05.2016.
- [7] Round K.J. Nuclear power source. US Patent No US3678303A1.
- [8] Yacout A, Pellin M, Billone M. Coating of nuclear fuel cladding materials, method for coating nuclear fuel cladding materials. US Patent No US 102 762 68/30.04.2020.
- [9] Landsberg GS. Physics, Book 3, Chaps. XXI and XXII, Fourthly Ed. M.: Nauka, 1966.
- [10] Greenspan E. Encyclopedia of Nuclear Energy, Ref. work. Elsevier, 2021.
- [11] Channcey S. Nuclear reactor. US Patent No US3072553A1/819732-5.1963.
- [12] Innovation in Nuclear Energy Technology. Nuclear Energy Agency. OECD 2007. NEA No 6103, 2007.
- [13] Saveliyev I.V., Physics, Book 3, Chap. XIV. M: Nauka, 1967.
- [14] Lozanova SV, Ralchev ML, Roumenin CS. Small device for nuclear energy. BG Patent № BG 113474 B1/25.01.2022.
- [15] Lozanova SV, Ralchev ML, Roumenin CS. Device for physical-mechanical state determination of rocks and concretes deformation BG Patent № BG 67599 B1/15.01.2024.
- [16] Lozanova S, Ralchev M, Roumenin C. Generation of microparticles in rock structures. Compt. rendus ABS 2022; 75(12): 1813-1821.
- [17] Lozanova S, Ralchev M, Ivanov A, Roumenin C. A novel sensor effect applicable in seismically active regions. In: Proceedings, 97 2024, 102 <https://doi.org/10.3390/proceedings/2024097102>. Leche, Italy 2023.