



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123208** (13) **C2**  
(51) МПК  
**G21C 3/34** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2017 12482</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Єнін Анатолій Алексєєвич (RU),</b> <b>Шустов Мстіслав Александровіч (RU),</b> <b>Іванов Роман Сергєєвич (RU),</b> <b>Дорохов Роман Александровіч (RU),</b> <b>Мальчевскій Дмитрій Вячеславовіч (RU),</b> <b>Волков Сергєй Євгєньєвич (RU),</b> <b>Васільченко Іван Нікітовіч (RU),</b> <b>В'ялицин Віктор Васільєвич (RU),</b> <b>Кушманов Сергєй Александровіч (RU)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>29.12.2016</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>04.03.2021</b>	
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>10.01.2020, Бюл.№ 1</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>03.03.2021, Бюл.№ 9</b>	
<b>(86)</b> Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: <b>PCT/RU2016/000947, 29.12.2016</b>	<b>(73)</b> Володілець (володільці): <b>АКЦИОНЕРНОЄ ОБЩЕСТВО "ТВЕЛ",</b> ул. Большая Ордынка, д. 24, г. Москва, 119017, Российская Федерация (RU)
	<b>(74)</b> Представник: <b>Дроб'язко Руслан Володимирович,</b> <b>реєстр. №122</b>
	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2273062 C1, 27.03.2006 RU 2351027 C2, 27.03.2009 RU 2391724 C1, 10.06.2010 US 2016/0163402 A1, 09.06.2016 RU 2124239 C1, 27.12.1998

**(54) ЗБІРКА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА, ЩО ВИДІЛЯЄ ТЕПЛО****(57) Реферат:**

Винахід належить до області ядерної енергетики, а саме - до конструкції збірок ядерних реакторів, що виділяють тепло, і направлений на забезпечення ефективного перемішування теплоносія. Тепловидільна збірка ядерного реактора, з поперечним перерізом у формі правильного шестикутника, містить верхній і нижній хвостовики, направляючі канали, твели, розташовані у вузлах трикутної сітки, і принаймні одну решітку, що складається з нероз'ємно з'єднаних між собою осередків, виконаних у формі багатогранної трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твела. Шість несуміжних граней комірки виконані похилими за рахунок зміни ширини грані вздовж осі комірки. Між похилими гранями розташовані грані, паралельні осі тепловидільної збірки, якими комірки прилягають одна до одної. При цьому комірки розташовуються в решітці рядами, паралельними одній з великих діагоналей правильного шестикутника. В однієї пари протилежних похилих граней ширина крайки, з боку верхнього хвостовика, менша, ніж ширина крайки з боку нижнього хвостовика. Вісь симетрії комірки, яка перетинає ці грані, утворює кут 30 градусів з вищезазначеною діагоналлю. У решітці похилих граней ширина крайки, з боку верхнього хвостовика, більша, ніж ширина крайки з боку нижнього хвостовика. При цьому комірки кожного ряду орієнтовані однаково, а осі симетрії комірок в суміжних рядах утворюють кут 60 градусів. Ширина похилих граней комірок змінюється уздовж осі комірки таким чином, що площа поперечного перерізу комірки є постійною вздовж її осі. Винахід дозволяє знизити нерівномірність параметрів теплоносія в

**UA 123208 C2**

тепловидільній збірці і підвищити потужність реактора за рахунок збільшення запасів до критичних параметрів теплоносія.

Винахід належить до галузі ядерної енергетики, а саме – до конструкції тепловиділяючих збірок ядерних реакторів, і спрямоване на забезпечення ефективного перемішування теплоносія з метою поліпшення тепловідведення від тепловиділяючих елементів і підвищення критичного теплового потоку при експлуатації тепловиділяючих збірок в енергетичних ядерних

5 реакторах АЕС.

Сучасні галузеві завдання щодо підвищення виробітку енергії на АЕС типу ВВЕР і підвищення ефективності використання палива на АЕС вимагають впровадження вдосконалених паливних циклів. Найбільш простим і ефективним способом збільшення виробітку енергії енергоблоків АЕС, які експлуатуються, є підвищення їх встановленої

10

потужності і збільшення тривалості роботи паливних об'єктів, що в даний час і реалізується на енергоблоках з ВВЕР. Реалізація цих завдань супроводжується посиленням умов експлуатації тепловиділяючих збірок (підвищення потужності, збільшення нерівномірностей виділення енергії, збільшення тривалості експлуатації). Вимоги забезпечення надійної та безпечної експлуатації при цьому зростають.

15

Виділення енергії по перерізу тепловиділяючої збірки ядерного реактора має суттєві нерівномірності. Це призводить до нерівномірного розподілу параметрів теплоносія і, відповідно, до зменшення запасів до кризи теплообміну в комірках між тепловиділяючими елементами. Для вирівнювання параметрів теплоносія по перерізу тепловиділяючої збірки, а також для турбулізації потоку теплоносія з метою поліпшення теплообміну застосовують

20

перемішувальні пристрої. Відома тепловиділяюча збірка ядерного реактора, яка містить гексагональний пучок тепловиділяючих елементів (твелів), розміщений в комірках, розташованих по довжині збірки решіток, які дистанціюють. Головна і хвостова частини тепловиділяючої збірки з'єднані напрямними каналами, в яких переміщуються стрижні, що містять матеріал, який поглинає нейтрони (див. Крамеров А.Я. Питання конструювання ядерних реакторів. М., Атомиздат, 1971, с.204, мал.7.1.116).

25

Недоліком даного пристрою є деформація конструкції під час експлуатації внаслідок недостатньої жорсткості і, як наслідок, неможливості експлуатації тепловиділяючої збірки даної конструкції при підвищеному режимі роботи реакторної установки – в межах 107-110 % номінальної потужності.

30

Найбільш близькою (по технічній суті і результату, який досягається) до пропонованого технічного рішення є тепловиділяюча збірка ядерного реактора з поперечним перерізом у формі правильного шестикутника, яка містить верхній і нижній хвостовики, напрямні канали, твели, розташовані у вузлах трикутної сітки і принаймні одну решітку, яка складається з нерозрізно з'єднаних між собою комірок. Комірки цієї решітки виконані у формі багатогранної трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твелу. Шість несуміжних граней комірки зроблені похилими за рахунок зміни ширини грані вздовж осі комірки. Між похилими гранями розташовані грані, паралельні осі тепловиділяючої збірки, якими комірки прилягають одна до

35

одної (див. Патент РФ на винахід № 2273062, опубл.27.03.2006, бюл.№ 9) - прототип. Недоліком даної конструкції тепловиділяючої збірки є відсутність можливості експлуатації при підвищеному режимі роботи реакторної установки – в межах 107-110 % номінальної потужності через неможливість гарантування безпеки експлуатації ядерного палива, в тому числі, внаслідок наявності парової плівки, яка утворюється через обертовий рух теплоносія навколо частини твелів, що погіршує їх працездатність.

40

Технічним завданням, на вирішення якого спрямований заявлений пристрій, є підвищення надійності тепловиділяючої збірки, безпеки ядерного реактора і підвищення перемішувальних властивостей.

45

Технічним результатом, якого досягають при використанні заявленого пристрою, є забезпечення вирівнювання параметрів теплоносія і підвищення запасів до кризи теплообміну в активній зоні ядерного реактора за рахунок забезпечення масообміну між теплогідравлічними комірками в тепловиділяючій збірці шляхом відхилення потоку теплоносія при нульовому сумарному крутильному моменті.

50

Зазначений технічний результат досягається тим, що у відому тепловиділяючу збірку ядерного реактора з поперечним перерізом у формі правильного шестикутника, яка містить верхній і нижній хвостовики, напрямні канали, твели, розташовані у вузлах трикутної сітки і принаймні одну решітку, яка складається з нерозрізно з'єднаних між собою комірок, виконаних у формі багатогранної трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твелу, шість несуміжних граней комірки виконані похилими за рахунок зміни ширини грані вздовж осі комірки, між похилими гранями розташовані грані, паралельні осі тепловиділяючої збірки, якими комірки прилягають одна до одної, відповідно до винаходу, комірки розташовуються в решітці рядами,

55

60

паралельними однієї з великих діагоналей правильного шестикутника. У однієї пари протилежних похилих граней ширина крайки з боку верхнього хвостовика менша, ніж ширина крайки з боку нижнього хвостовика. Вісь симетрії комірки, яка перетинає ці грані, утворює кут 30 градусів з вищезазначеною діагоналлю. У решти похилих граней ширина крайки з боку верхнього хвостовика більша, ніж ширина крайки з боку нижнього хвостовика. При цьому комірки кожного ряду орієнтовані однаково, а осі симетрії комірок в суміжних рядах утворюють кут 60 градусів.

Технічний результат досягається також з рахунок того, що ширина похилих граней комірок змінюється уздовж осі комірки таким способом, що площа поперечного перерізу комірки є постійною вздовж її осі.

Вибір геометрії похилих граней комірки зі змінною шириною крайок, а також розташування комірок решітки, яке реалізується в запропонованій конструкції, забезпечують утворення похилих каналів між комірками і твелями, які відхиляють потоки теплоносія при проходженні через них з одночасним змішуванням з потоками теплоносія у сусідніх комірках, що призводить в результаті до відповідного усереднення температур і паровміст.

Внаслідок того, що комірки кожного ряду орієнтовані однаково, а осі симетрії комірок в суміжних рядах утворюють кут 60 градусів, нахил каналів забезпечує відхилення потоків теплоносія з утворенням замкнених симетричних контурів. В результаті сумарний крутильний момент гідродинамічних сил на кожен тепловиділяючу збірку дорівнює нулю. З урахуванням реалізації запропонованої умови сталості площі перерізу комірки вздовж її осі переміщення маси теплоносія вздовж замкнених контурів досягається максимально ефективно. Більш нагріті маси теплоносія потрапляють в ділянки з меншими виділеннями енергії, і навпаки. Забезпечується зниження нерівномірності підігріву теплоносія по перерізу активної зони, вирівнювання його температури і паровмісту і підвищення запасів до кризи теплообміну в активній зоні ядерного реактора.

На фіг.1 представлений принцип роботи пристрою тепловиділяючої збірки (фрагмент): а) – вигляд збоку; б) – вигляд зверху.

На фіг. 2 зображено перемішувальну решітку (фрагмент): а) – вигляд в ізометрії; б) – вигляд зверху, розташування комірок по рядах.

На фіг. 3 зображено комірку (варіант): а) – вигляд спереду; б) – вигляд в ізометрії.

Тепловиділяюча збірка ядерного реактора містить верхній і нижній хвостовики, напрямні канали, твели 1, розташовані у вузлах трикутної сітки, принаймні одну перемішувальну решітку 2, яка складається з нерозрізно з'єднаних між собою комірок 3. Комірки зроблені у формі багатогранної трубки 4, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твелу 1. Шість несуміжних граней 5 комірки 3 виконані похилими за рахунок зміни ширини грані вздовж осі комірки. Між похилими гранями 5 розташовані грані 6, паралельні осі тепловиділяючої збірки, якими комірки 3 прилягають одна до одної. Комірки 3 розташовуються в решітці рядами 7, паралельними однієї з великих діагоналей 8 правильного шестикутника. У однієї пари протилежних похилих граней 5 ширина крайки з боку верхнього хвостовика менша, ніж ширина крайки з боку нижнього хвостовика. Вісь симетрії 9 комірки 3, яка перетинає ці грані, утворює кут 30 градусів з вищезазначеною діагоналлю 8. У решти похилих граней 5 ширина крайки з боку верхнього хвостовика більша, ніж ширина крайки з боку нижнього хвостовика. При цьому комірки 3 кожного ряду 7 орієнтовані однаково, а осі симетрії 9 комірок 3 в суміжних рядах утворюють кут 60 градусів.

Твели 1 проходять крізь решітку всередині комірок 3. При цьому між комірками 3 і твелями 1 утворюються похилі канали 10. Під час роботи тепловиділяючої збірки в реакторі теплоносієм 11 надходить в тепловиділяючу збірку і нагрівається за рахунок виділення енергії твелів 1. Нерівномірність нагріву теплоносія, обумовлена нерівномірністю виділення енергії твелів 1 по перерізу і висоті тепловиділяючої збірки, а також паровміст теплоносія 11 вирівнюються, оскільки геометрія комірок 3 і наявність похилих каналів 10, утворених між комірками 3 і твелями 1, забезпечують відхилення потоків теплоносія 11, змішування з потоками у сусідніх комірках і відповідне усереднення температур і паровмісту. Обраний нахил граней 5 комірок 3 і, відповідно, нахил каналів 10 забезпечує відхилення потоків теплоносія 11 з утворенням замкнених симетричних контурів. В результаті сумарний крутильний момент гідродинамічних сил на кожен тепловиділяючу збірку дорівнює нулю. Сумарно таке відхилення потоку призводить до переміщення маси теплоносія 11 вздовж замкнених контурів, за рахунок чого більш нагріті маси теплоносія 11 потрапляють в ділянки з меншими виділеннями енергії, і навпаки. Таким чином, в результаті забезпечується зниження нерівномірності підігріву теплоносія 11 по перерізу активної зони, вирівнювання його температури і паровмісту. Крім того, навіть в зонах з рівномірним полем виділення енергії запас до кризи теплообміну

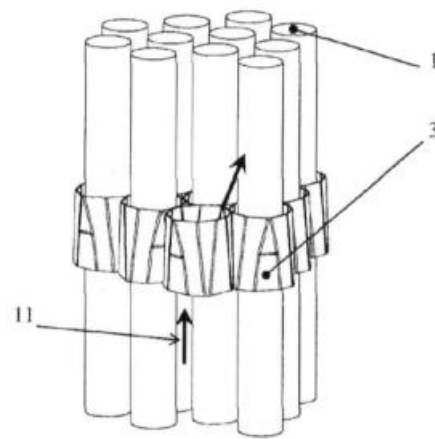
підвищується за рахунок ефекту інтенсифікації теплообміну, обумовленого турбулізацією потоку теплоносія 11 при проходженні крізь решітку заявленої конструкції.

У тепловиділяючій збірці ядерного реактора перемішувальна решітка пропонованої конструкції встановлюється перпендикулярно поздовжньої осі тепловиділяючої збірки і закріплюється на поздовжніх силових елементах, наприклад, напрямних каналах. При цьому в місцях проходження напрямних каналів крізь решітку комірки можуть бути пропущені.

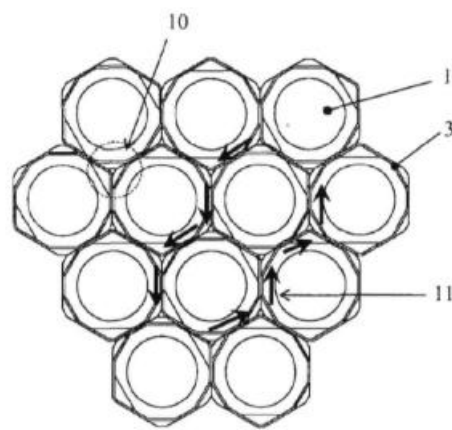
Даний винахід є промислово придатним і може бути використаний при виготовленні тепловиділяючих збірок ядерних енергетичних реакторів, які характеризуються підвищеною безпекою за рахунок зниження нерівномірності параметрів теплоносія в тепловиділяючій збірці і активній зоні, з можливістю підвищення потужності реактора за рахунок збільшення запасів до критичних параметрів теплоносія.

#### ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Тепловидільна збірка ядерного реактора з поперечним перерізом у формі правильного шестикутника, яка містить верхній і нижній хвостовики, напрямні канали, твели, розташовані у вузлах трикутної сітки, і принаймні одну решітку, яка складається з нерознімно з'єднаних між собою комірок, виконаних у формі багатогранної трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твелу, шість несуміжних граней комірки виконані похилими за рахунок зміни ширини грані вздовж осі комірки, між похилими гранями розташовані грані, паралельні осі тепловидільної збірки, якими комірки прилягають одна до одної, яка **відрізняється** тим, що комірки розташовуються в решітці рядами, паралельними одній з великих діагоналей правильного шестикутника, ширина крайки однієї пари протилежних похилих граней, з боку верхнього хвостовика, менша за ширину крайки з боку нижнього хвостовика, вісь симетрії комірки, яка перетинає ці грані, утворює кут 30 градусів з вищезазначеною діагоналлю, ширина крайки інших похилих граней, з боку верхнього хвостовика, більша за ширину крайки з боку нижнього хвостовика, при цьому комірки кожного ряду орієнтовані однаково, а осі симетрії комірок в суміжних рядах утворюють кут 60 градусів.
2. Тепловидільна збірка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що ширина похилих граней комірок змінюється уздовж осі комірки таким чином, що площа поперечного перерізу комірки постійна уздовж її осі.



a)



b)

Fig. 1

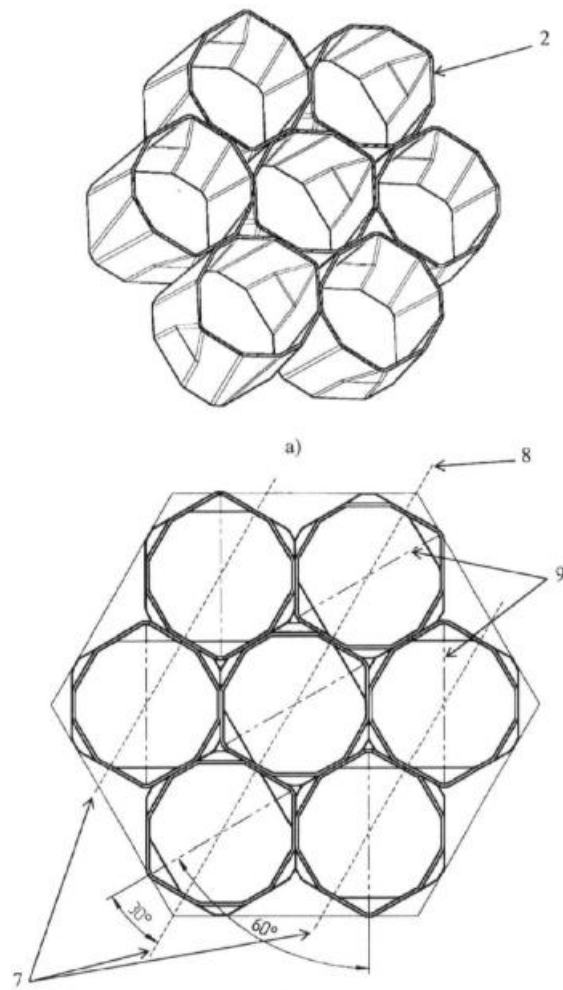
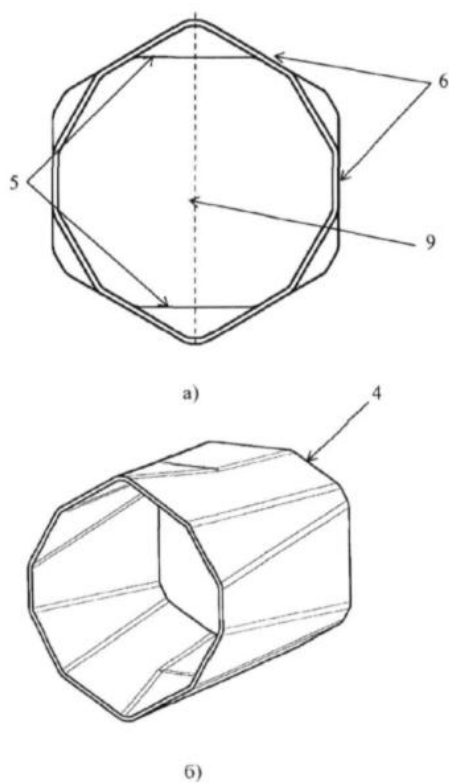


Fig. 2



Фіг. 3