



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123207** (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

(21) Номер заявки:	а 2017 12479	(72) Винахідник(и):	Єнін Анатолій Алексєєвич (RU), Шустов Мстіслав Александровіч (RU), Іванов Роман Сергєєвич (RU), Дорохов Роман Александровіч (RU), Мальчевський Дмитрій Вячеславовіч (RU), Волков Сергєй Євгєньєвич (RU), Васільченко Іван Нікітовіч (RU), В'ялицин Віктор Васільєвич (RU), Кушманов Сергєй Александровіч (RU)
(22) Дата подання заявки:	29.12.2016	(73) Володілець (володільці):	АКЦИОНЕРНОЄ ОБЩЕСТВО "ТВЕЛ", ул. Большая Ордынка, д. 24, г. Москва, 119017, Российская Федерация (RU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	04.03.2021	(74) Представник:	Дроб'язко Руслан Володимирович, реєстр. №122
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.01.2020, Бюл.№ 1	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	RU 2428756 C1, 10.09.2011 RU 2273062 C1, 27.03.2006 RU 2518058 C1, 10.06.2014 US 2016/0163402 A1, 09.06.2016 RU 2391725 C1, 10.06.2010
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	03.03.2021, Бюл.№ 9		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/RU2016/000948, 29.12.2016		

## (54) ТЕПЛОВИДІЛЬНА ЗБІРКА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

### (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 з метою поліпшення тепловідведення від елементів, що виділяють тепло. Тепловидільна збірка ядерного реактора містить верхній і нижній хвостовики, напрямні канали, твели, розташовані у вузлах трикутної сітки, принаймні одну решітку, яка складається з нерознімно з'єднаних між собою комірок. Кожна з комірок виконана у формі профільованої трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твела і має поперечний переріз у формі шестикутника, межі якого складаються із середнього й двох крайніх ділянок. Крайні ділянки граней, принаймні у торців осередків, з боку верхнього хвостовика, мають прогин, що монотонно змінюється за величиною вздовж поздовжньої осі осередку. У сусідніх граней комірки крайні ділянки, що примикають до загальної вершини шестикутника, мають протилежний напрямок прогину щодо центру комірки. У граней суміжних осередків, що контактують один з одним, напрямки прогинів відносно центрів власних осередків протилежні. Між комірками решітки відсутній зазор.

UA 123207 C2

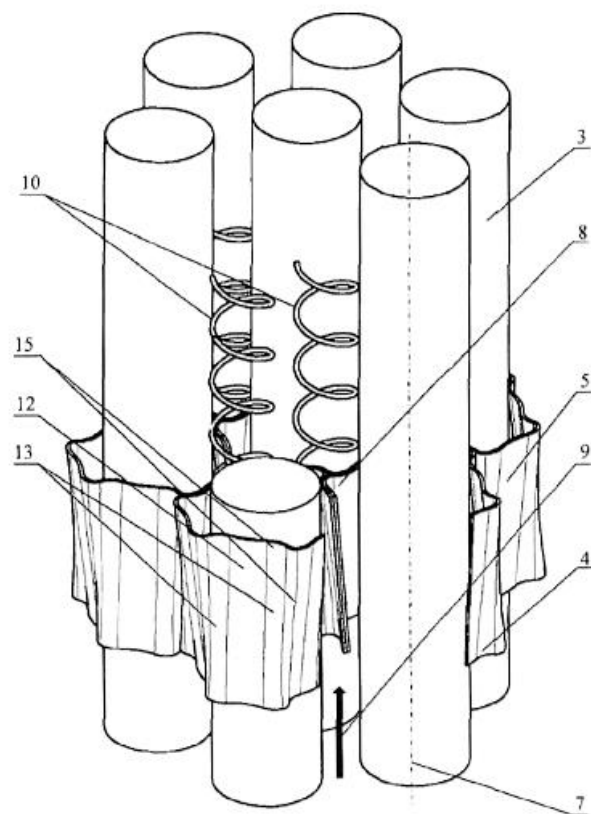


Fig. 2

Винахід відноситься до області ядерної енергетики, а саме - до конструкції збірок ядерних реакторів, що виділяють тепло, і направлений на забезпечення ефективного перемішування теплоносія з метою поліпшення тепловідведення від елементів, що виділяють тепло.

Сучасні галузеві завдання щодо підвищення енерговироблення на АЕС типу ВВЕР і підвищенню ефективності використання палива на АЕС вимагають впровадження вдосконалених паливних циклів. Найбільш простим і ефективним способом збільшення енерговироблення енергоблоків АЕС, які експлуатуються, є підвищення їх встановленої потужності і збільшення тривалості роботи паливних завантажень, що в даний час і реалізується на енергоблоках з ВВЕР. Реалізація цих завдань супроводжується жорсткістю умов експлуатації тепловидільних збірок (підвищення потужності, збільшення нерівномірностей енерговиділення, збільшення тривалості експлуатації). Вимоги забезпечення надійної та безпечної експлуатації при цьому зростають.

Енерговиділення по перетину тепловидільної збірки ядерного реактора має суттєві нерівномірності. Це призводить до нерівномірного розподілу параметрів теплоносія, підвищення парозмісту і, відповідно, зменшення запасів до кризи теплообміну, особливо у внутрішніх рядах тепловидільних елементів (твेलів) в тепловидільній збірці.

Аналіз способів підвищення запасу до кризи теплообміну для ВВЕР по роботах російських і зарубіжних фахівців показує, що використання в конструкції тепловидільної збірки інтенсифікаторів теплообміну дозволяє при виборі оптимальної конструкції і взаємному розташуванні інтенсифікаторів і дистанціонуючих решіток забезпечити збільшення запасу до кризи теплообміну на 30-40 %, що становить 10-15 % теплової потужності реактора. Таким чином, виходячи з необхідності забезпечення теплофізичної надійності тепловидільних збірок в умовах експлуатації при підвищеній потужності тепловидільних збірок і реактора, стає вкрай актуальною задача інтенсифікації теплообміну в тепловидільних збірках за рахунок впровадження нових елементів конструкції - інтенсифікаторів теплообміну (перемішувальних решіток).

Відома тепловидільна збірка ядерного реактора, що містить пристрій для інтенсифікації теплообміну теплоносія по перетину тепловидільної збірки (див. патент США № 3.862.000, заявлений 31.08.72. МКІ G21C 3/34), що представляє решітку, виконану з пересічних пластин, що утворюють при перетині осередки, забезпечені дефлекторами (відхиляючими елементами). Дефлектори розташовані концентрично місця сходження суміжних кутів сусідніх паливних збірок і орієнтовані в периферійному напрямі так, щоб відхиляти в поперечному напрямку всередині кожної збірки частину поздовжнього потоку теплоносія.

Недоліком даного пристрою тепловидільної збірки є пульсація потоку теплоносія від дії циркуляційного насоса, що передається на пристрій для інтенсифікації теплообміну теплоносія. У певних випадках це може привести як до відгину, так і до відриву елементів пристрою. Крім того, решітка даної конструкції є технологічно складною у виготовленні.

Найбільш близькою по технічній суті і досягаємому результату до пропонованого технічного рішення є тепловидільна збірка ядерного реактора з поперечним перерізом у формі правильного шестикутника, що містить верхній і нижній хвостовики, направляючі канали, твели, розташовані в вузлах трикутної сітки і, по принаймні, одну решітку, що складається з нероз'ємно з'єднаних між собою осередків, виконаних у формі трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твела (див. патент РФ № 2273062, опубл. 27.03.2006, бюл. № 9) - прототип.

Недоліком даної конструкції тепловидільної збірки є відсутність можливості експлуатації на підвищеному режимі роботи реакторної установки - в межах 107-110 % номінальної потужності через неможливість забезпечення безпеки експлуатації ядерного палива.

Технічною задачею, на вирішення якої спрямовано заявлений пристрій, є підвищення надійності тепловидільної збірки, безпеки ядерного реактора і підвищення перемішувальних властивостей.

Технічним результатом, що досягається при використанні заявленого пристрою, є інтенсифікація теплообміну потоку теплоносія в тепловидільній збірці шляхом створення вихрових структур в струменях теплоносія.

Зазначений технічний результат досягається тим, що в певній тепловидільній збірці ядерного реактора з поперечним перерізом у формі правильного шестикутника, що містить верхній і нижній хвостовики, направляючі канали, твели, розташовані в вузлах трикутної сітки і, принаймні, одну решітку, що складається з нероз'ємно з'єднаних між собою осередків, виконаних у формі трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твела, відповідно до винаходу, осередки решітки виконані у формі профільованої трубки і мають поперечний

переріз у формі шестикутника, межі якого складаються із середнього й двох крайніх ділянок. Принаймні, у торців осередків з боку верхнього хвостовика крайні ділянки граней мають прогин, що монотонно змінюється за величиною вздовж поздовжньої осі осередки. У сусідніх граней осередки примикають до загальної вершині шестикутника крайні ділянки мають протилежне

5 щодо центра осередку напрямком прогину. У граней суміжних осередків, що контактують один з одним, напрямки прогинів по відношенню до центрів власних осередків протилежні. Завдання вирішується також і тим, що між осередками решітки відсутній зазор.

Зазначена сукупність ознак дозволяє вирішити поставлену задачу. При експлуатації в реакторі тепловидільної збірки з трикутним розташуванням тепловидільних елементів

10 запропонований вибір геометрії граней осередків решітки, що перемішує, що містять середній і дві крайніх ділянки, забезпечує круговий поступальний рух теплоносія, що проходить через зазначену решітку між гранями осередків і встановленими в осередку твелями, з утворенням вихору. У двофазному потоці теплоносія, що містить воду і пар, за рахунок відцентрових сил створеного вихору важкі частинки потоку (вода) відкидаються на сусідні твели, руйнуючи парову

15 плівку на їх поверхні, а легкі частинки (пар) залишаються в центрі вихору, що в результаті збільшує інтенсифікацію теплообміну.

Виконання прогину на крайніх ділянках, принаймні, у торців осередків з боку верхнього хвостовика, монотонно змінюється за величиною вздовж поздовжньої осі осередки, дозволяє

20 посилити вплив решітки на потік теплоносія.

Протилежність напрямку прогинів по відношенню до центрів власних осередків у граней суміжних осередків, що контактують один з одним, і прогинів крайніх ділянок сусідніх граней, що примикають до загальної вершині шестикутника, забезпечує створення напрямки вихорів таким

25 чином, що сумарний момент вихорів, що діє на тепловидільну збірку, дорівнює нулю.

Відсутність зазору між осередками решітки дозволяє мінімізувати коефіцієнт гідрравлічного опору решітки, збільшити зону поширення створених вихорів.

В результаті досягається максимальний сумарний ефект з інтенсифікації теплообміну в тепловидільній збірці в двофазному потоці теплоносія.

На фіг. 1 представлена тепловидільна збірка ядерного реактора, загальний вигляд.

На фіг. 2 представлений принцип роботи пристрою тепловидільної збірки (фрагмент).

На фіг. 3 представлена перемішувальна решітка:

а) розріз А-А над перемішувальною решіткою (фрагмент);

б) вид в ізометрії (фрагмент).

На фіг. 4 представлений осередок (варіант), перетин.

На фіг. 5 представлений осередок (варіант), спереду.

На фіг. 6 представлений осередок, вид в ізометрії.

Тепловидільна збірка ядерного реактора містить верхній 1 і нижній 2 хвостовики, направляючі канали (не показані), твели 3, розташовані в вузлах трикутної сітки, принаймні, одну перемішувальну решітку 4, що складається з нероз'ємно з'єднаних між собою осередків 5, виконаних у формі багатогранної трубки, поздовжня вісь 6 якої збігається з поздовжньою віссю

40 7 твела 3. Між твелями 3 і осередками 5 решітки утворені похилі канали 8 для проходження теплоносія 9, що утворює внаслідок геометрії осередку вихор 10. Потік теплоносія 9 проходить від верхнього до нижнього хвостовика тепловидільної збірки.

Осередки 5 решітки 4 мають поперечний переріз у формі шестикутника, межі 11 якого складаються з середньої 12 і двох крайніх 13 ділянок. Принаймні, у торців 14 осередків 5 з боку верхнього хвостовика крайні ділянки 13 граней 11 виконані з прогином 15, який монотонно змінюється за величиною вздовж поздовжньої осі 6 осередку 5.

У сусідніх граней 11 осередки 5, що примикають до загальної вершини 16 шестикутника крайні ділянки 13 мають протилежний щодо центру 17 осередки 5 напрямком прогину 15, у граней 11, що контактують один з одним, суміжних осередків 5 напрямки прогинів 15 по відношенню до центрів 17 власних осередків 5 протилежні. Завдання вирішується також і тим,

50 що між осередками 5 решітки відсутній зазор.

Для збільшення нахилу стінки осередку 5 з одного боку має увігнуту ділянку 18, а з іншого боку осередку 5 на стінці виконана опукла ділянка 19.

Як приклад наведена тепловидільна збірка ядерного реактора, в якій решітка пропонованої

55 конструкції встановлюється перпендикулярно поздовжньої осі тепловидільної збірки і закріплюється на поздовжніх силових елементах, наприклад, направляючих каналах. При цьому в місцях проходження напрямних каналів крізь решітку осередки можуть бути пропущені.

Твели 3 проходять крізь перемішувальну решітку 4 всередині осередків 5, при цьому між осередками 5 і твелями 3 утворюються похилі канали 8. Під час роботи тепловидільної збірки в

60 реакторі теплоносії 9 надходить в тепловидільну збірку і нагрівається за рахунок

енерговиділення твелів 3. Теплоносій 9, проходячи через осередки 5 і похилі канали 8, втягується в круговий поступальний рух і утворює вихор 10. У двофазному потоці теплоносія, що містить воду і пар, за рахунок відцентрових сил важкі частинки потоку (вода) відкидаються на сусідні твели 3, руйнуючи парову плівку на їх поверхні, а легкі частинки (пар) залишаються в центрі вихору 10, що в результаті збільшує інтенсифікацію теплообміну.

Виконання сусідніх граней 11 осередки 5 з крайніми ділянками 13, що примикають до загальної вершини 16 шестикутника, що мають протилежне щодо центру 17 осередку 5 напрямком прогину 15, а граней 11 суміжних осередків 5, що контактують один з одним - з протилежним напрямком прогинів 15 по відношенню до центрів 17 власних осередків 5 забезпечує виключення крутного моменту, що передається на тепловидільні збірки від решітки, тому суміжні вихори, що утворюються в результаті, мають протилежний зміст обертання.

Виконання увігнутої ділянки 18 з одного боку стінки комірки 5 і опуклої ділянки 19 з іншого боку стінки комірки 5 забезпечує величину нахилу граней осередки оптимальних розмірів з точки зору відхилення потоку теплоносія 9 і утворення вихору 10.

Установка осередків 5 в перемішувальній решітці 4 без зазорів забезпечує мінімізацію коефіцієнта гідравлічного опору.

Даний винахід є промислово придатним і може бути використано при виготовленні тепловидільних збірок ядерних енергетичних реакторів, що мають підвищену безпеку за рахунок зниження нерівномірності параметрів теплоносія в тепловидільній збірці і активній зоні, з можливістю підвищення потужності реактора за рахунок збільшення запасів до критичних параметрів теплоносія.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Тепловидільна збірка ядерного реактора, що 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, кожен з яких виконаний у формі трубки, поздовжня вісь якої збігається з поздовжньою віссю твела, яка **відрізняється** тим, що осередки решітки виконані у формі профільованої трубки і мають поперечний переріз у формі шестикутника, межі якого складаються із середньої й двох крайніх ділянок, принаймні у торців осередків, з боку верхнього хвостовика, крайні ділянки граней мають прогин, що монотонно змінюється за величиною вздовж поздовжньої осі осередків, у сусідніх граней осередки - крайні ділянки, що примикають до загальної вершини шестикутника, мають протилежний щодо центру осередку напрямком прогину, у граней суміжних осередків напрямки прогинів, що контактують один з одним, відносно власних осередків протилежні.

2. Тепловидільна збірка ядерного реактора за п. 1, яка **відрізняється** тим, що між осередками решітки відсутній зазор.

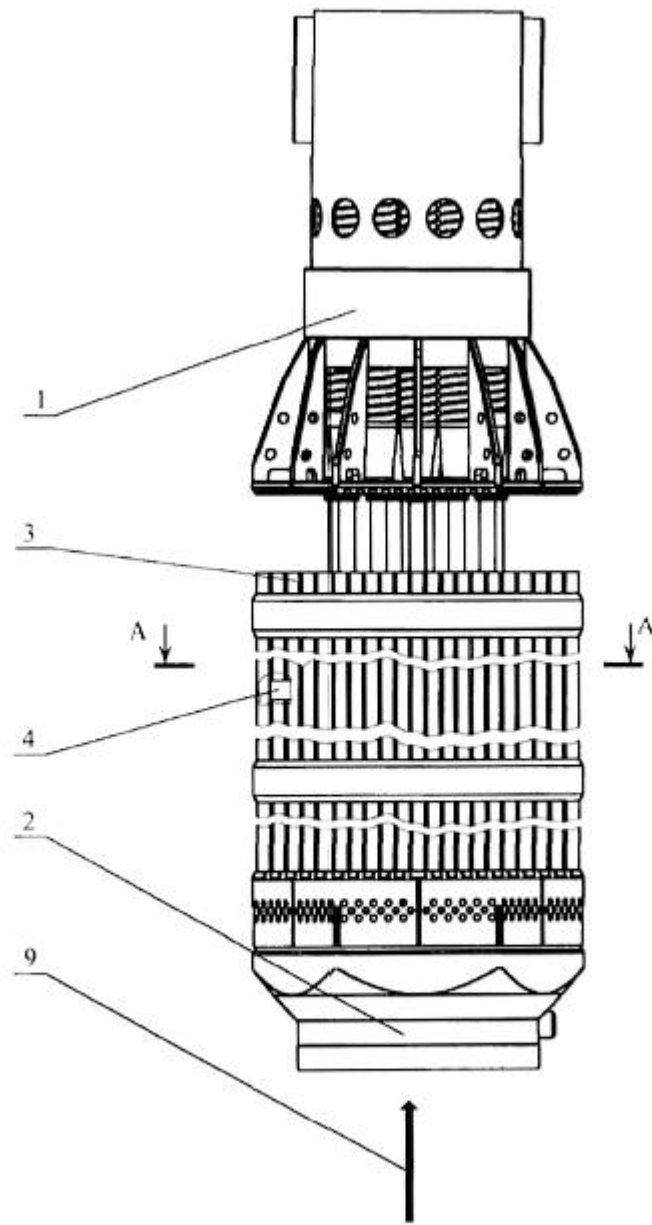


Fig. 1

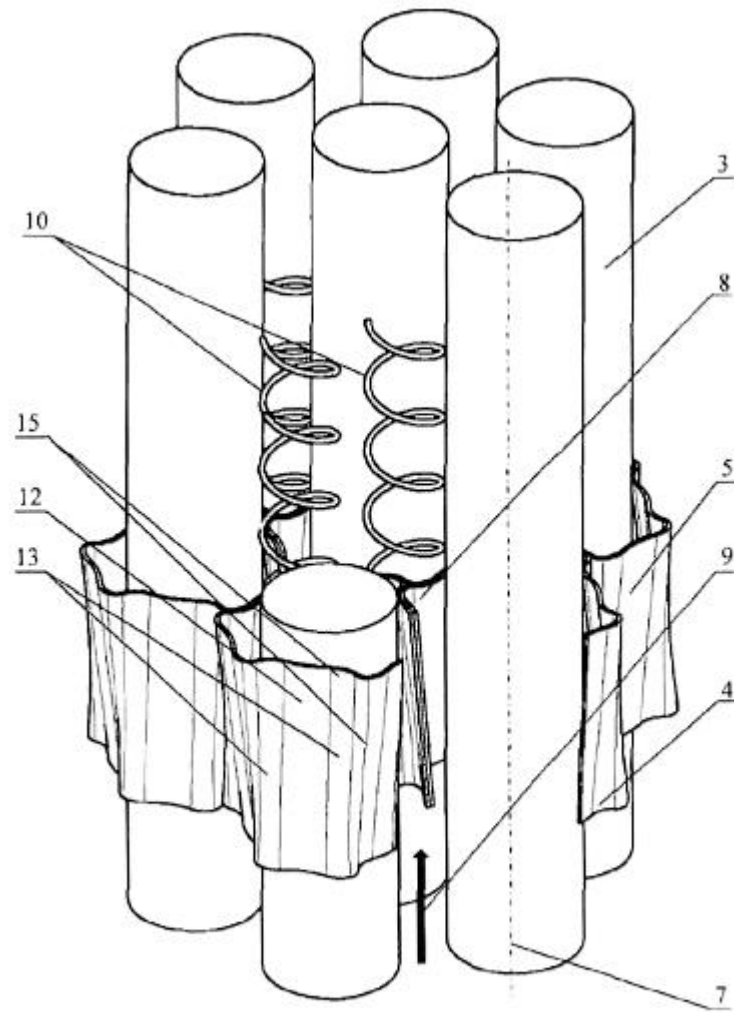
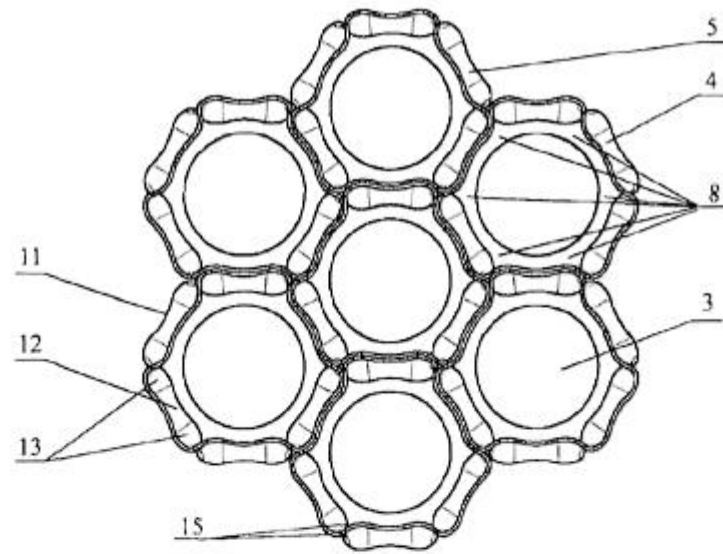
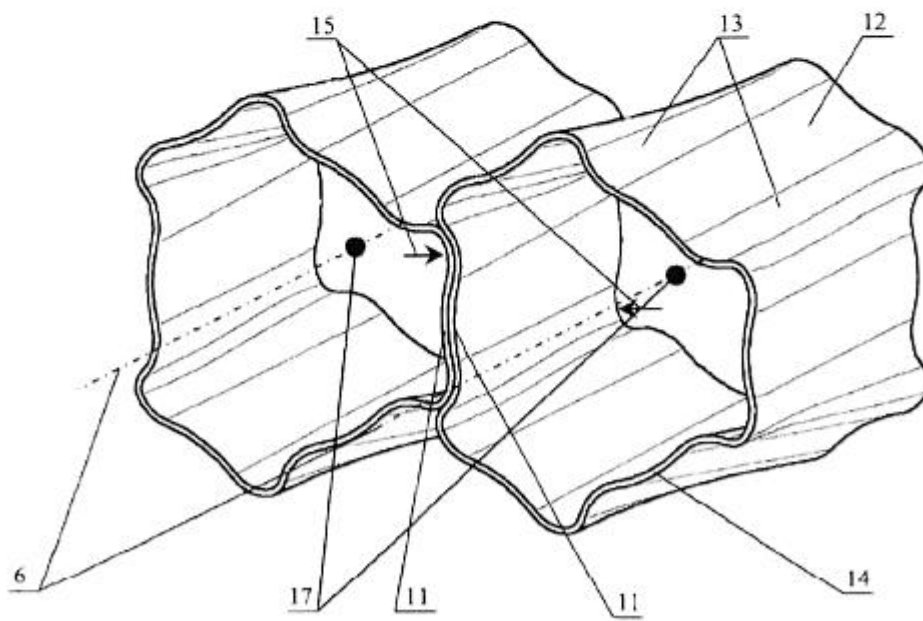


Fig. 2



a)



b)

Fig. 3



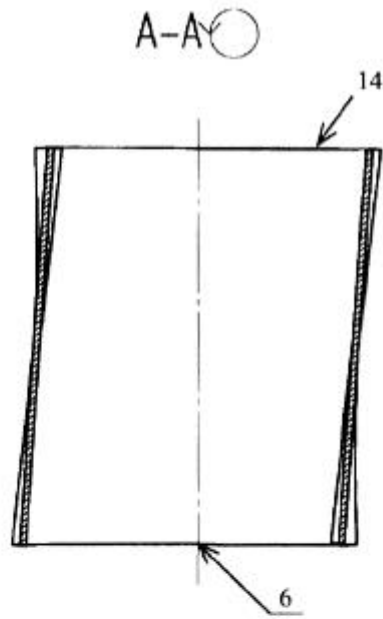


Fig. 4

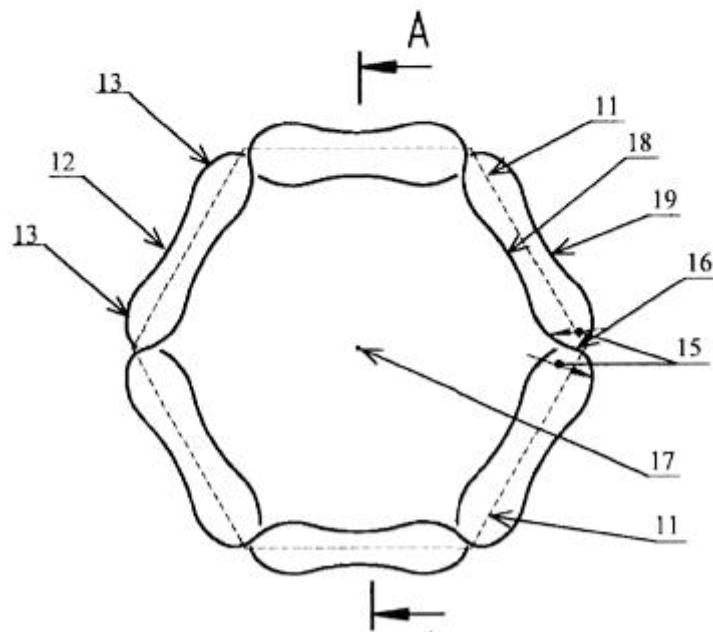


Fig. 5

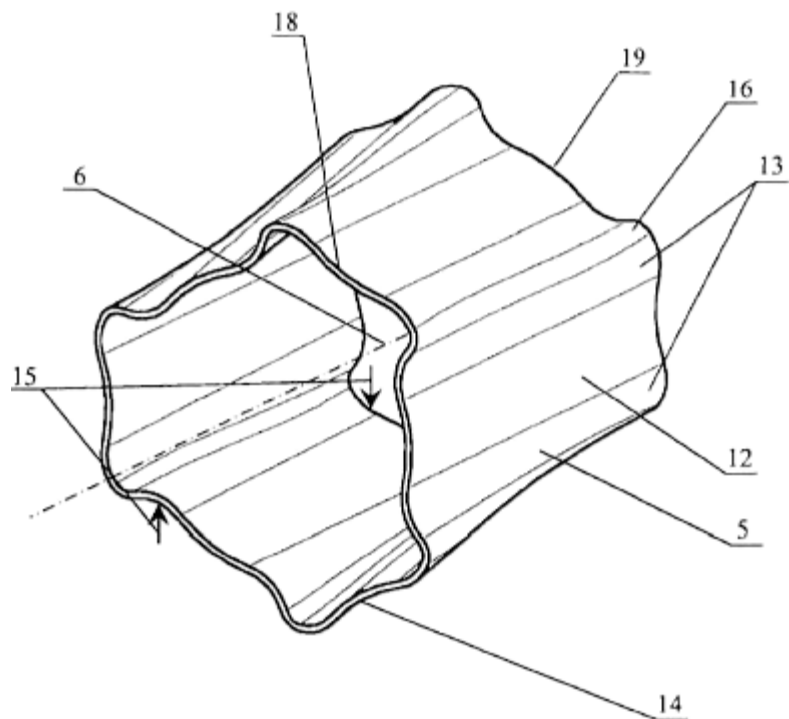


Fig. 6