



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120420** (13) **C2**
(51) МПК
F28F 9/013 (2006.01)
F28D 7/08 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2016 03349	(72) Винахідник(и):	Бонд Алан (GB), Варвілл Річард (GB)
(22) Дата подання заявки:	10.10.2014	(73) Власник(и):	РІЕКШН ЕНДЖИНС ЛІМІТЕД, Hill House, 1 Little New Street, London, EC4A 3TR, United Kingdom (GB)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.12.2019	(74) Представник:	Кістерський Тимофій Арсенійович, реєстр. №457
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	1318098.9, 1318099.7, 1318100.3, 1318107.8, 1318109.4, 14/296,603	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	EP 1903207 A1, 26.03.2008 EP 2562505 A1, 27.02.2013 US 5318110 A, 07.06.1994 GB 2241319 A, 28.08.1991 US 2008/121387 A1, 29.05.2008 WO 2008/123603 A1, 16.10.2008 US 3828570 A, 13.08.1974 US 2005/066681 A1, 31.03.2005 US 2686407 A, 17.08.1954 US3169381 A, 16.02.1965
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	11.10.2013, 11.10.2013, 11.10.2013, 11.10.2013, 05.06.2014		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	GB, GB, GB, GB, GB, US		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.10.2016, Бюл.№ 20		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.12.2019, Бюл.№ 23		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/GB2014/000405, 10.10.2014		

(54) ТЕПЛООБМІННИКИ

(57) Реферат:

Запропоновано теплообмінник (52), який може бути використаний у двигуні, такому як двигун літального апарата для повітряного літального апарата або орбітальної ракети-носія. Теплообмінник (52) може бути виконаний по суті у вигляді барабана з численною кількістю спіральних секцій (108), кожна з яких містить численні трубки (120) малого діаметра. Спіральні секції можуть бути закручені в спіраль усередині одна одної. Теплообмінник може містити опорну конструкцію з безліччю взаємно рознесених опорних обручів в осьовому напрямку і може містити проміжний колектор (440). Теплообмінник може включати рециркуляцію метанолу, або іншого антифризу, використововуваного для запобігання блокуванню теплообмінника внаслідок утворення інею або льоду.

UA 120420 C2

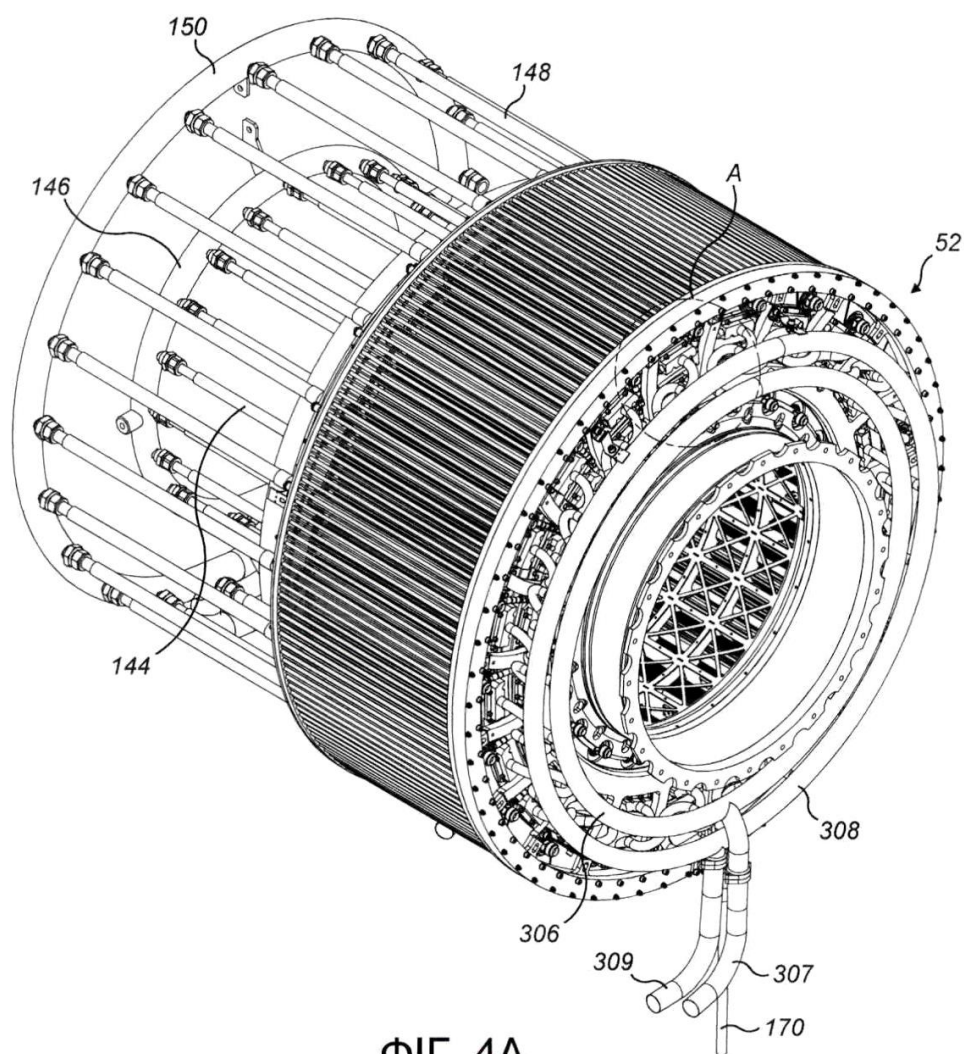


FIG. 4A

Перехресне посилання на споріднені заявки

[0001] Дана заявка претендує на пріоритет відповідно до § 119 (а) 35 Кодексу законів США за наступними заявками, поданими в Об'єднаному Королівстві 11 жовтня 2013 р., вміст кожної з яких включений в дану заявку за допомогою посилання: GB 1318098.9; GB 1318109.4; GB 1318100.3; GB 1318107.8; GB 1318099.7, і відповідно до § 120 і § 365 35 Кодексу законів США претендує на пріоритет з перевагою за більш ранньою датою подачі згідно із заявкою на патент Сполучених Штатів номер 14/296603, яка була подана 5 червня 2014 р. і яка також включена в дану заявку за допомогою посилання.

Область техніки

[0002] Даний винахід відноситься до теплообмінників, таких як того типу, які можуть бути використані в застосуванні в авіації і космонавтиці або в промислових або інших цілях. Винахід також відноситься до двигунів, таких як двигуни повітряних літальних апаратів або до аерокосмічних двигунів, що містять такі теплообмінники, і до повітряного літального апарата, що містить такі теплообмінники або двигуни.

Рівень техніки

[0003] GB-A-2241319 розкриває теплообмінник із вкладеними секціями спіральних труб. Впускна колекторна трубка розташована на одній стінці, а випускна колекторна трубка розташована на іншій стінці на кінці пристрою. Однак важко побудувати такий теплообмінник, який буде підданий значним коливанням температури і виконаний у формі, здатній витримувати численні цикли, які бажані в певних теплообмінниках, наприклад, при використанні в транспортних засобах, або літальних апаратах, багаторазового використання.

[0004] Крім того, при наявності істотного потоку повітря через теплообмінник у радіальному напрямку повз трубки опір повітряному потоку на трубах утворює більшу радіальну силу, що діє на ці трубки, і трубки важко підтримувати і експлуатувати протягом тривалого часу. Крім того, теплообмінник має досить обмежену функціональність у циклі і важко виконати теплообмінники з розміщенням їх у двигуні і забезпеченням системи з малою вагою і низьким перепадом тиску. Крім того, для досягнення достатніх робочих характеристик виявилася необхідною розробка циклу, що охолоджує атмосферне повітря до його входження в секцію стиснення вниз за течією від такого теплообмінника при температурі нижче 0 °C. На жаль, це може досить легко призводити до дуже швидкого блокування теплообмінника льодом, оскільки значна кількість водяної пари найчастіше присутня у нижніх шарах атмосфери, де може мати місце запуск літального апарата, що містить теплообмінник для охолодження повітря, що робить весь літальний апарат нежиттєздатним. Це виявилось винятково важкою проблемою, яку намагалися вирішити протягом багатьох років і яка виявилася істотним бар'єром для можливості створення літального апарата багаторазового використання, який був би здатний працювати у відносно економічному повітряно-реактивному режимі з горизонтальним зльотом і продовжувати політ як літальний апарат LAPCAT, призначений для транспортування трьохсот пасажирів із Брюсселя, Бельгія, у Сідней, Австралія, приблизно за 4,6 години на крейсерському режимі зі швидкістю приблизно 5 Мах, або переключитися, як літальний апарат SKYLON, у ракетний режим для переміщення з атмосфери на орбіту.

[0005] GB-A-2241537 розкриває повітрязбірник для аерокосмічного двигуна, що містить перший теплообмінник для охолодження надхідного повітря, водовіддільник униз за потоком від першого теплообмінника, інжектор рідкого кисню вниз за потоком від водовіддільника і другий теплообмінник униз за потоком від інжектора рідкого кисню. Інжектор зменшує температуру потоку повітря так, що вода, що залишається в потоці повітря вниз за потоком від водовіддільника, переходить у малі кристали сухого льоду. Така конструкція вимагає використання двох повністю роздільних теплообмінників і в значній мірі збільшує осьову відстань у проточному каналі уздовж патрубка між цими двома теплообмінниками. Крім того, рідкий кисень використовується для зменшення температури потоку від рівня між 5° і 13 °C до мінус 50 °C або нижче, так, що значну кількість рідкого кисню необхідно використовувати для охолодження повітря в патрубку, де вже перебуває повітря, що містить кисень, який може бути використаний нижче за течією у двигуні.

Розкриття винаходу

[0006] Згідно з першою особливістю даного винаходу запропоновано теплообмінник, що має щонайменше одну секцію першого трубопроводу для протікання першого текучого середовища з теплообміном із другим текучим середовищем у проточному каналі, що проходить щонайменше через одну секцію першого трубопроводу, і опору для щонайменше однієї секції першого трубопроводу, причому щонайменше одна секція трубопроводу прикріплена в першому місці до опори, і щонайменше одна секція трубопроводу в другому місці на ній виконана рухомою відносно опори у відповідь на зміну температурних умов.

[0007] При необхідності щонайменше одна секція першого трубопроводу містить численну кількість трубок для теплообміну.

5 [0008] При необхідності трубки приєднуються на своєму першому кінці до впускного колектора і на своєму другому кінці до випускного колектора щонайменше однією секцією першого трубопроводу.

[0009] При необхідності зазначене перше місце розташовано на одному з колекторів, який жорстко прикріплений до опори, причому другий з колекторів виконаний з можливістю переміщення відносно опори у відповідь на зміну температурних умов.

10 [0010] При необхідності другий з колекторів прикріплений до його рухомої опори, яка рухома відносно зазначеної опори.

[0011] При необхідності кожна зазначена секція першого трубопроводу являє собою спіральну секцію, що містить численну кількість трубок, що проходять по спіралі уздовж рядів і рознесених одна від одної в рядах.

15 [0012] При необхідності трубки в зазначеній секції першого трубопроводу розташовані в діапазоні від 1 до 40 рядів, розміщених на відстані одна від одної в радіальному напрямку, наприклад, на 4 такі ряди.

[0013] При необхідності трубки розміщені приблизно у вигляді від 10 до 1000 рядів, на відстані одна від одної в осьовому напрямку, наприклад, приблизно від 70 до 100 таких рядів.

20 [0014] При необхідності трубки мають довжину приблизно 2-3 метра і проходять від першого колектора до другого колектора.

[0015] При необхідності трубки мають діаметр, що складає приблизно 1 мм.

[0016] При необхідності трубки мають товщину стінок, приблизно, що складає 20-40 мікрон.

[0017] При необхідності численна кількість зазначених спіральних секцій вставлені одна у одну і орієнтовані з кутовою відстанню відносно одна одної.

25 [0018] При необхідності зазначені спіральні секції виконані у формі по суті циліндричного барабана.

[0019] При необхідності опора містить щонайменше один круговий обід, до якого прикріплений зазначений перший трубопровід.

30 [0020] При необхідності опора містить численну кількість зазначених кругових ободів, виконаних на відстані одна від одної у вигляді по суті циліндричної перфорованої барабанної конструкції, у якій колектор зазначеного першого трубопроводу прикріплений до численної кількості зазначених кругових ободів.

35 [0021] При необхідності теплообмінник містить опорну конструкцію, що проходить кільцеподібно і щонайменше частково в радіальному напрямку між зазначеним колектором і наступним колектором відповідного щонайменше одного першого трубопроводу, причому наступний колектор підтриманий напрямним елементом, розміщеним з можливістю кругового переміщення відносно перфорованої барабанної конструкції у відповідь на зміну температурних умов.

40 [0022] При необхідності зазначений колектор виконаний твердим або по суті твердим і з'єднаний по текучому середовищу із гнучким трубопроводом.

[0023] При необхідності гнучкий трубопровід з'єднаний по текучому середовищу із твердою або по суті твердою колекторною трубою.

45 [0024] При необхідності колекторна трубка прикріплена в осьовому напрямку в певному положенні відносно опори, але має можливість вільного переміщення, наприклад, росту в радіальному напрямку.

[0025] При необхідності ряди трубок у зазначеній секції першого трубопроводу містять численну кількість рядів, розміщених на відстані одна від одної за допомогою роздільників, розміщених для протидії аеродинамічному навантаженню, прикладеного до трубок.

50 [0026] При необхідності елемент навантаження, такий як прокладка, передбачений між трубками двох сусідніх зазначених секцій першого трубопроводу для передачі навантаження між ними, при забезпеченні можливості відносного ковзання між ними у відповідь на зміну температурних умов.

55 [0027] При необхідності елемент навантаження по суті вирівняний за допомогою роздільників з утворенням прохідної по суті в радіальному напрямку конструкції шляху навантаження для реагування на аеродинамічне навантаження, прикладене до трубок, при забезпеченні можливості відносного переміщення між сусідніми зазначеними першими секціями трубопроводу у відповідь на зміну температурних умов.

60 [0028] При необхідності зазначений теплообмінник містить численну кількість зазначених конструкцій шляху навантаження, сформованих у послідовності, у якій вони розміщені на відстані одна від одної по суті по колу.

[0029] Згідно із другою особливістю даного винаходу запропоновано двигун літального апарата, що містить секцію згоряння і теплообмінник згідно з першою особливістю, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції, призначений для охолодження повітря (в якості другого текучого середовища) у проточному каналі, спрямованому до секції згоряння.

[0030] При необхідності зазначений двигун літального апарата містить пристрій подачі гелію для подачі гелію в якості першого текучого середовища, або іншого робочого текучого середовища, такого як водень.

[0031] Згідно із третьою особливістю даного винаходу, запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, що містить теплообмінник згідно з першою особливістю, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції.

[0032] Згідно із четвертою особливістю даного винаходу, запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, що містить двигун згідно із другою особливістю, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції.

[0033] Згідно з п'ятою особливістю даного винаходу запропоновано теплообмінник, що має численну кількість секцій першого трубопроводу для протікання першого текучого середовища при теплообміні із другим текучим середовищем у проточному каналі, що проходить через секції першого трубопроводу, і опору для численної кількості секцій першого трубопроводу, причому кожна із секцій першого трубопроводу містить численну кількість трубок для теплообміну, кожна секція першого трубопроводу являє собою спіральну секцію, що містить численну кількість трубок, що проходять по спіралі уздовж рядів і розміщених на відстані одна від одної в рядах, причому щонайменше один елемент навантаження розміщений між трубками в розміщених на відстані одна від одної в радіальному напрямку рядів для протидії аеродинамічному навантаженню, прикладеного до трубок.

[0034] При необхідності зазначений елемент навантаження містить роздільник, що з'єднує разом, наприклад, за допомогою зпаювання, трубки в рознесених в радіальному напрямку рядах.

[0035] При необхідності зазначений елемент навантаження містить елемент, такий як прокладка, розміщена між трубками двох сусідніх зазначених секцій першого трубопроводу для передачі навантаження між ними, при забезпеченні можливості відносного ковзання між ними у відповідь на зміну температурних умов.

[0036] При необхідності зазначений елемент прикріплений до трубки в одній із зазначених секцій першого трубопроводу і рухомо входить у взаємодію з іншою із зазначених секцій першого трубопроводу.

[0037] При необхідності зазначений елемент навантаження містить щонайменше один І-подібний елемент.

[0038] При необхідності трубки в зазначеній секції першого трубопроводу розміщені в діапазоні від 1 до 40 рядів, розміщених на відстані одна від одної в радіальному напрямку, наприклад, на 4 такі ряди.

[0039] При необхідності трубки мають довжину приблизно від 1 до 3 метрів від першого колектора до другого колектора.

[0040] При необхідності трубки мають діаметр, що складає приблизно 1 мм.

[0041] При необхідності трубки мають товщину стінок, приблизно, що складає 20-40 мікрон.

[0042] При необхідності трубки розміщені у вигляді приблизно в 10-1000 рядів, розміщених на відстані одна від одної в осьовому напрямку, наприклад приблизно в 70-100 таких рядів або від 70 до 200 або 500 таких рядів.

[0043] У деяких варіантах реалізації даного винаходу трубки виконані, щонайменше частково, зі сплавного матеріалу, наприклад, зі сплавів нікелю або сплавів алюмінію. При необхідності кожна трубка містить першу частину, виконану з першого матеріалу, і другу частину, виконану із другого матеріалу. Перша частина може закінчуватися на одному кінці такої трубки, наприклад на колекторі, а друга частина може закінчуватися на другому кінці такої трубки, наприклад, на іншому колекторі. Перша і друга частини можуть бути з'єднані одна з одною, наприклад, за допомогою втулки. Це може забезпечити можливість поліпшення температурних властивостей за допомогою використання першого матеріалу у відносно гарячій області теплообмінника, а другий матеріал із причин щільності або втрат повинен бути використаний у більш холодній області.

[0044] Наприклад, алюмінієвий сплав може бути використаний у більш холодній області, а кераміка або жароміцний сплав у більш гарячій області. Кожна частина з першої і другої частин може бути з'єднана на одному своєму кінці із проміжним колектором.

[0045] При необхідності численна кількість спіральних секцій виконані із внутрішнім вкладенням одна у одну і орієнтовані з кутовим рознесенням відносно одна одної.

[0046] При необхідності зазначені спіральні секції виконані у формі циліндричного барабана.

5 [0047] При необхідності опора містить щонайменше один круговий обід, до якого прикріплений зазначений перший трубопровід.

10 [0048] При необхідності опора містить численну кількість зазначених кругових ободів, які виконані з рознесенням одна від одної в перфорованій по суті циліндричній барабанній конструкції, і в якій передбачено щонайменше один елемент лонжерона для підтримки із взаємодією сусідньої зазначеної трубки в місці, орієнтованому по суті в радіальному напрямку із щонайменше одним зазначеним елементом навантаження.

[0049] При необхідності численна кількість зазначених елементів навантаження розміщені в прохідній по суті в радіальному напрямку конструкції шляхи навантаження для реагування на аеродинамічне навантаження, прикладене до трубок.

15 [0050] При необхідності конструкція шляху навантаження пристосована для забезпечення можливості відносного переміщення між трубками зазначених сусідніх перших секцій трубопроводу у відповідь на зміну температурних умов.

20 [0051] Згідно із шостою особливістю даного винаходу запропоновано двигун літального апарата, що містить секцію згоряння і теплообмінник згідно з п'ятою особливістю, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції, призначений для охолодження повітря, в якості другого текучого середовища, у проточному каналі, спрямованому до секції згоряння.

[0052] При необхідності зазначений двигун літального апарата містить пристрій подачі гелію для подачі гелію в якості першого текучого середовища.

25 [0053] Згідно із сьомою особливістю даного винаходу запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, що містить теплообмінник згідно з п'ятою особливістю даного винаходу, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції.

[0054] Згідно з восьмою особливістю даного винаходу запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, що містить двигун згідно із шостою особливістю, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції.

30 [0055] Згідно з дев'ятою особливістю даного винаходу запропоновано теплообмінник, що містить щонайменше одну секцію першого трубопроводу для протікання першого текучого середовища з теплообміном із другим текучим середовищем у проточному каналі, що проходить через щонайменше одну секцію першого трубопроводу, причому кожна секція першого трубопроводу містить проточний канал через щонайменше одну трубку від впускного отвору до випускного отвору, і проміжний колектор розміщений у проточному каналі між впускним отвором і випускним отвором для зв'язку по потоці із проміжним проточним каналом текучого середовища.

[0056] При необхідності кожний впускний і випускний отвори містять трубку колектора.

[0057] При необхідності трубки колектора виконані прямолінійними.

40 [0058] При необхідності щонайменше одна секція першого трубопроводу містить численну кількість трубок першого потоку, що проходять від впускного отвору до проміжного колектора для виконання потоку між ними, і численну кількість трубок другого потоку, що проходять від проміжного колектора до випускного отвору для виконання потоку між ними.

45 [0059] При необхідності довжина трубки першого потоку плюс довжина трубки другого потоку складає приблизно 2-3 метра.

[0060] При необхідності трубки першого потоку і/або трубки другого потоку складають приблизно 1 мм у діаметрі.

[0061] При необхідності трубки першого потоку і/або трубки другого потоку мають товщину стінок, що приблизно складає 20-40 мікрон.

50 [0062] При необхідності зазначена секція першого трубопроводу містить спіральну секцію, що містить трубки першого і другого потоків, що проходять по спіралі уздовж рядів і рознесені одна від одної в рядах.

[0063] При необхідності зазначений теплообмінник містить контролер для керування тиском у проміжному проточному каналі.

55 [0064] При необхідності контролер містить клапан потоку.

[0065] При необхідності проміжний колектор містить зовнішній корпус для оточення першого текучого середовища і інжектор для введення проміжного потоку текучого середовища в зовнішній корпус.

[0066] При необхідності інжектор містить трубку, що містить послідовність отворів для потоку, розміщених на відстані одна від одної уздовж трубки для введення текучого середовища в зовнішній корпус.

5 [0067] При необхідності кожний елемент із зовнішнього корпусу і інжектора містить прямолінійну витягнуту трубку.

[0068] При необхідності зазначені послідовності включають численну кількість рядів, розміщених на відстані одна від одної уздовж поздовжнього напрямку зовнішнього корпусу, причому трубки в зазначених розміщених на відстані одна від одної рядах зв'язані по текучому середовищу із зовнішнім корпусом у відповідних рознесених на деяку відстань місцях уздовж їх довжини.

10 [0069] У деяких варіантах реалізації даного винаходу трубки виконані, щонайменше частково, зі сплавного матеріалу, наприклад, зі сплавів нікелю або сплавів алюмінію. При необхідності кожна трубка містить першу частину, виконану з першого матеріалу і другу частину, виконану з другого матеріалу. Перша частина може бути закінчена на одному кінці такої трубки, наприклад, на колекторі, а друга частина може бути закінчена на другому кінці такої трубки, наприклад, на іншому колекторі. Перша і друга частини можуть бути з'єднані одна з одною, наприклад, за допомогою втулки. Це може забезпечити можливість поліпшення температурних властивостей за допомогою використання першого матеріалу у відносно гарячій області теплообмінника, а другий матеріал із причин щільності або втрат повинен бути використаний у більш холодній області.

20 [0070] Наприклад, алюмінієвий сплав може бути використаний у більш холодній області, а кераміка або жароміцний сплав у більш гарячій області. Кожна частина з першої і другої частин може бути з'єднана одним своїм кінцем до проміжного колектора.

25 [0071] Згідно з десятою особливістю даного винаходу запропоновано теплообмінник, що містить щонайменше одну секцію першого трубопроводу для протікання першого текучого середовища з теплообміном із другим текучим середовищем у проточному каналі, що проходить щонайменше через одну секцію першого трубопроводу, причому кожний перший трубопровід містить проточний канал щонайменше через одну трубку від впускного отвору до впускного отвору, і щонайменше одна із зазначених трубок містить першу і другу частини, що проходять уздовж їх, які виконані з різних по відношенню одна до одної матеріалів.

30 [0072] Згідно з одинадцятою особливістю даного винаходу запропоновано спосіб експлуатації теплообмінника згідно з дев'ятою особливістю, що містить або що не містить будь-яку додаткову його функцію, який включає протікання гелію щонайменше через один перший трубопровід і через проміжний проточний канал для текучого середовища.

35 [0073] При необхідності зазначений спосіб експлуатації теплообмінника включає протікання повітря в якості другого текучого середовища в проточному каналі повз щонайменше одного першого трубопроводу.

40 [0074] Згідно із дванадцятою особливістю даного винаходу запропоновано двигун, такий як двигун літального апарату, що містить секцію згоряння і теплообмінник відповідно дев'ятій або десятій особливості, при наявності або відсутності будь-якої їхньої додаткової функції, пристосований для охолодження повітря (в якості другого текучого середовища) у проточному каналі, спрямованому до секції згоряння.

[0075] При необхідності зазначений двигун містить пристрій подачі гелію для подачі гелію в якості першого текучого середовища.

45 [0076] Згідно із тринадцятою особливістю даного винаходу запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, який містить теплообмінник відповідно дев'ятій або десятій особливості, при наявності або відсутності будь-якої їхньої додаткової функції.

50 [0077] Згідно із чотирнадцятою особливістю даного винаходу запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, який містить двигун згідно із дванадцятою особливістю, при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції.

55 [0078] Згідно з п'ятнадцятою особливістю даного винаходу запропонована опорна конструкція для теплообмінника, що має щонайменше одну секцію першого трубопроводу для протікання першого текучого середовища з теплообміном з текучим середовищем секції в проточному каналі, що проходить щонайменше через одну секцію першого трубопроводу, причому опорна конструкція містить по суті циліндричну перфоровану барабанну конструкцію.

[0079] При необхідності зазначена опорна конструкція містить численну кількість взаємно рознесених в осьовому напрямку кільцевих елементів опори.

[0080] При необхідності зазначена опорна конструкція містить численну кількість взаємно рознесених у радіальному напрямку елементів лонжерона, які пристосовані до підтримуючої взаємодії із зазначеними секціями першого трубопроводу в орієнтованій по суті в радіальному напрямку конструкції шляхи навантаження.

5 [0081] При необхідності кільцеві елементи опори виконані з підшипниками і/або кріпильними конструкціями для розташування трубок колектора секцій першого трубопроводу на кільцевих елементах опори.

[0082] При необхідності кільцеві елементи опори і елементи лонжерона виконані з по суті прямокутними або квадратними проміжками потоку між ними.

10 [0083] При необхідності зазначена опорна конструкція містить щонайменше один діагонально прикріплений сполучний елемент, що проходить через і усередині або поруч із щонайменше одним із проміжків, наприклад, по діагоналі через нього.

[0084] При необхідності кожний зазначений проміжок містить два діагонально прикріплені зазначені сполучні елементи, утворених у вигляді Х-подібної конфігурації, утворюючи, тим самим чотири по суті трикутні отвори для проходження потоку в області кожного зазначеного проміжку.

[0085] Згідно із шістнадцятою особливістю даного винаходу запропоновано теплообмінник для охолодження текучого середовища в проточному каналі і утримуючий компонент, схильний до фазового переходу при температурі нижче його температури, причому теплообмінник містить послідовність трубок для проходження охолоджувача і інжектор для введення антифризу в текуче середовище в проточному каналі.

[0086] При необхідності інжектор являє собою інжектор антифризу, такий як інжектор метанолу, влаштований для з'єднання із джерелом метанолу.

25 [0087] При необхідності зазначений теплообмінник містить пристрій видалення, призначений для видалення рідини, розташованої усередині тіла переміщуваного текучого середовища в проточному каналі.

[0088] При необхідності пристрій видалення розташований внизу за потоком від інжектора.

[0089] При необхідності пристрій видалення містить щонайменше один пристрій або елемент захоплення, розміщений прохідним по суті поперек до загального напрямку потоку текучого середовища повз нього.

[0090] При необхідності зазначений теплообмінник містить щонайменше один ряд зазначених елементів захоплення.

[0091] При необхідності елементи захоплення розміщені на відстані одна від одної в ряді на величину проміжку, яка менше максимального поперечного розміру кожного елемента захоплення в напрямку проміжку.

[0092] При необхідності величина проміжку складає приблизно одну чверть, одну третину або половину від зазначеного максимального поперечного розміру.

[0093] При необхідності пристрій захоплення містить другий ряд елементів захоплення, причому другий ряд елементів захоплення розміщений зі зміщенням (у напрямку від одного елемента захоплення до іншого уздовж ряду) відносно першого ряду елементів захоплення.

[0094] При необхідності елементи захоплення в першому і другому рядах розміщені на відстані від елементів захоплення в тому ж самому ряді по суті на таку ж саму відстань, на яку вони розміщені на відстані від елементів захоплення в іншому ряді.

45 [0095] При необхідності кожний елемент захоплення проходить у поздовжньому напрямку і має щонайменше в одній точці уздовж своєї довжини по суті круговий поперечний переріз.

[0096] При необхідності кожний елемент захоплення являє собою порожню трубку, що містить щонайменше одну (наприклад, численну кількість) кишеню для збору рідини, розміщену на її зовнішній поверхні.

[0097] При необхідності порожня трубка утворена гідроформінгом з металевого матеріалу.

50 [0098] При необхідності кожна кишеня для збору рідини містить отвір для продувки, що проходить із кишені у внутрішній трубопровід порожньої трубки, причому отвір для продувки має малий розмір для обмеження потоку повітря, що втягується в нього разом з рідиною.

[0099] При необхідності зазначений теплообмінник містить сітку, що покриває кожну кишеню і утворюючи порожнину між кожною кишенею і сіткою. Сітка може бути виконана по суті плоскою в області кожної кишені. Проміжок за кожною такою частиною сітки утворює порожнину. Фізична присутність елемента захоплення дозволяє повітрю виконувати швидке переміщення навколо елемента захоплення при відсутності інерціального відділення рідини від повітря. При наявності сітки на місці рідини в потоці може виконувати переміщення в сітку і бути захоплена нею, але повітря може продовжувати текти навколо елементів захоплення.

[0100] При необхідності сітка являє собою сітку розміром від 25 мікрон до 100 мікрон, наприклад сітку розміром 50 мікрон.

[0101] При необхідності сітка покрита змочувальним реактивом.

[0102] При необхідності сітка покрита двоокисом кремнію.

5 [0103] При необхідності зазначений теплообмінник містить систему усмоктування, зв'язану по текучому середовищу з порожньою трубкою для видалення рідини з кишень збору.

[0104] При необхідності зазначений теплообмінник містить другий зазначений пристрій видалення, розміщений вниз за течією від зазначеного пристрою видалення. Також передбачені варіанти реалізації даного винаходу із трьома або більшою кількістю зазначених пристроїв

10 видалення.

[0105] Інжектор антифризу може містити численну кількість інжекційних частин і може бути розміщений з можливістю інжекції більш концентрованого антифризу в першій інжекційній частині в першій області потоку повітря і більшою мірою розведеного (з водою) антифризу в другій інжекційній частині, розташований вище за течією, ніж перша інжекційна частина в другій області потоку повітря, більш теплої, ніж перша область. Вода отримана конденсацією з

15 повітря, що проходить через теплообмінник, внаслідок вологості повітря.

[0106] Теплообмінник може містити шлях рециркуляції для рециркуляції антифризу і рідкої води, вилученої з потоку повітря, у другому (або наступному) пристрої видалення для виконання повторної операції інжекції уверх за течією від першого пристрою видалення в другій інжекційній частині. Таким чином, кожна така повторна операція інжекції з послідовності множини таких повторних операцій інжекції при необхідності може інжектувати більш розведений антифриз у більш тепле повітря і вище за течією в потоці повітря у порівнянні з попередньою операцією інжекції і, таким чином, антифриз може бути повторно інжектований у послідовності точок повторної інжекції уздовж шляху, протилежного напрямку проходження

20 потоку повітря через теплообмінник. Таким чином, це може бути розглянуто як свого роду "протитечія" системи інжекції антифризу навіть при тому, що антифриз, при інжекції в потік повітря, тече разом з повітрям. Причина додаткового розведення полягає у конденсації води, що надходить із повітря, що проходить через теплообмінник. Пійманий або захоплений антифриз (наприклад, метанол) і вода можуть потім бути повторно інжектовані (при розведеному більшою мірою антифризі) у потік повітря в точці, розташований далі уверх по потоку, ніж попередня операція інжекції, проведена в місці з більш теплим повітряним потоком. Ця рециркуляція антифризу забезпечує можливість тривалої роботи без необхідності використання занадто великої кількості антифризу, оскільки той самий антифриз може бути інжектований і потім уловлений; і потім він може бути повторно інжектований і знову вловлений

35 два або більшу кількість разів залежно від кількості пристроїв видалення з елементами захоплення, які використані через теплообмінник. Це також забезпечує можливість усе більш концентрованого вмісту метанолу, оскільки потік стає більш холодним.

[0107] При необхідності зазначений теплообмінник пристосований для охолодження повітря до температури нижче 0 градусів за Цельсієм.

40 [0108] При необхідності зазначений теплообмінник пристосований для охолодження повітря до температури приблизно мінус 100 градусів за Цельсієм або нижче її, наприклад, до температури близько мінус 140 градусів за Цельсієм, або до точки переходу повітря в рідку фазу, приблизно - 195 градусів за Цельсієм.

[0109] При необхідності зазначений теплообмінник містить засіб керування для керування тим, щоб середовище біля самого холодного елемента захоплення являло собою метанол з концентрацією приблизно 80 молярних відсотків або приблизно 88 вагових відсотків (на фазовій діаграмі тверде тіло - рідина для води і метанолу), при наближенні температури приблизно до мінус 100 градусів за Цельсієм. У деяких варіантах реалізації даного винаходу середовище близько самого холодного елемента захоплення може бути метанолом з концентрацією

50 приблизно від 70 до 90 молярних відсотків, при наближенні температури до значення приблизно - 100 градусів за Цельсієм або зниженню нижче цього значення (на фазовій діаграмі тверде тіло - рідина для води і метанолу), наприклад, приблизно від 75 до 85 молів молярних відсотків або 78-82 молярних відсотків.

[0110] При необхідності пристрій захоплення утворені і побудовані з достатньою кількістю елементів захоплення для видалення більше 90 % вмісту води з повітря, наприклад, більше 95 %, і в якості одного прикладу приблизно 99 %.

[0111] Згідно із сімнадцятою особливістю запропоновано вузол теплообмінника, виконаний прохідним поздовжньо у своєму поздовжньому напрямку, який містить щонайменше один по суті кільцевий модуль теплообмінника, розміщений з можливістю зв'язку з прохідним у

60 поздовжньому напрямку патрубком, причому щонайменше одна напрямна лопатка передбачена

для повороту потоку між одним і іншим напрямком, обраним з (а) по суті радіального напрямку через модуль теплообмінника і (b) по суті поздовжнього напрямку уздовж прохідного у поздовжньому напрямку патрубка.

5 [0112] Напрямна лопатка може бути пристосована до повороту потоку від по суті радіального напрямку до по суті поздовжнього напрямку.

[0113] Напрямна лопатка може бути виконана кільцевою або подібною до кільця.

[0114] Напрямна лопатка може мати передню крайку і задню крайку і при необхідності виконана по суті з постійною товщиною між передньою крайкою і задньою крайкою.

10 [0115] Передня крайка може бути розміщена під кутом, що приблизно складає від 5 до 20 градусів щодо радіального напрямку, наприклад, що приблизно складає 10 градусів. У певних варіантах реалізації даного винаходу ця величина може бути за межами цього діапазону.

[0116] Задня крайка може бути розміщена під кутом, що приблизно складає від 5 до 15 або приблизно від 8 до 12 градусів щодо поздовжнього напрямку. У певних варіантах реалізації даного винаходу ця величина може бути за межами цих діапазонів.

15 [0117] Напрямна лопатка може проходити в поздовжньому напрямку, а також прямна лопатка може містити розширену зі скривленням провідну секцію (яка при необхідності по суті являє собою дугу в поперечному розрізі) і по суті конічну задню секцію, причому задня секція проходить на приблизно від 50 до 85 % від поздовжньої витягнутості.

20 [0118] Вузол теплообмінника може містити численну кількість зазначених напрямних лопаток, які при необхідності розміщені у вигляді послідовностей, що взаємно перекриваються, уздовж патрубку, що проходить у поздовжньому напрямку.

25 [0119] Лопатки можуть бути розміщені зі звуженням між ними для прискорення потоку. Таким чином, потік може бути прискорений до по суті однакової швидкості на кожній лопатці у вигляді швидкості випуску матеріалу з поздовжньо прохідного патрубку. Це сприяє підтримці однорідності тиску і масовій витраті потоку уверх за течією від лопаток і при проходженні через модуль теплообмінника.

[0120] Вузол теплообмінника може містити безліч зазначених модулів теплообмінника, розміщених у вигляді послідовності уздовж і навколо зазначеного прохідного в поздовжньому напрямку патрубку, і може бути забезпечений послідовністю зазначених напрямних лопаток, що 30 проходять поруч і щонайменше по суті уздовж повної поздовжньої довжини щонайменше одного, при необхідності всіх, із зазначених модулів теплообмінника. Це сприяє підтримці однорідності тиску і масової витрати потоку уверх за течією від лопаток і при проходженні через модулі теплообмінника. Таким чином, два або більша кількість по суті кільцевих зазначених модулів теплообмінника можуть бути утворені навколо прохідного в поздовжньому напрямку патрубку і 35 розміщені у вигляді послідовності уздовж нього. Потік може проходити повністю і/або по суті у внутрішньому радіальному напрямку через кожний модуль теплообмінника в прохідний у поздовжньому напрямку патрубок. Лопатки забезпечують можливість вироблення по суті постійного статичного тиску в патрубку вниз за потоком від них і, отже, рівномірний потік проходить через модулі теплообмінника.

40 [0121] Хоча модулі теплообмінника можуть мати однаковий розмір (включаючи діаметр або максимальний поперечний розмір) у порівнянні один з одним, в інших варіантах реалізації даного винаходу вони можуть мати різні розміри, наприклад, будучи послідовністю по суті барабанних пристроїв із різними діаметрами в порівнянні один з одним. Однак, модулі можуть бути пристосовані для роботи з однаковими масовим потоком і перепадом тиску в порівнянні 45 один з одним і можуть містити однакову кількість рядів трубок теплообмінника в порівнянні один з одним і в деяких варіантах реалізації даного винаходу можуть мати однакову різницю між зовнішнім діаметром і внутрішнім діаметром (трубок, що присутні у модулі).

[0122] Згідно з вісімнадцятою особливістю запропоновано двигун, що містить теплообмінник згідно із сімнадцятою особливістю даного винаходу, причому теплообмінник розміщений уверх 50 за течією від повітряного компресора і/або блоку згоряння двигуна.

[0123] Згідно з дев'ятнадцятою особливістю даного винаходу запропоновано двигун, такий як двигун літального апарата, що містить секцію згоряння і теплообмінник згідно із шістнадцятою особливістю при наявності або відсутності будь-якої його додаткової функції, пристосований для охолодження повітря в проточному каналі, спрямованому до секції згоряння.

55 [0124] При необхідності зазначений двигун містить пристрій подачі гелію для подачі гелію як охолоджувача, що протікає через теплообмінник.

[0125] Згідно із двадцятою особливістю даного винаходу запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носіє, що містить теплообмінник згідно із шістнадцятою особливістю при наявності або відсутності будь-якої його додаткової 60 функції.

[0126] Згідно з двадцять першою особливістю даного винаходу запропоновано літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носіє, що містить двигун відповідно до вісімнадцятій або дев'ятнадцятій особливості при наявності або відсутності будь-якої їхньої додаткової функції.

[0127] Таким чином, у деяких варіантах реалізації даного винаходу теплообмінник виконаний по суті у вигляді барабана і містить численну кількість спіральних секцій, кожна з яких містить численні трубки малого діаметра зі сплаву металу. Спіральні секції закручені в спіраль усередині одна одної. У деяких прикладах довжина кожної трубки складає приблизно від 2 до 3 метрів, діаметр складає приблизно 1 міліметр і товщина стінок складає приблизно від 20 до 40 мікрон або близько цього.

[0128] Кожна спіральна секція містить витягнуту в осьовому напрямку трубку впускного колектора для охолоджувача, яка жорстко прикріплена до центральної втулки опори. Труби кожної спіральної секції з ущільненням з'єднані на одному своєму кінці, наприклад, за допомогою пайки, із трубою впускного колектора і проходять у радіальному напрямку в невеликій кількості рядів (наприклад, в якості деяких прикладів від приблизно 1 до 10 рядів, 2, 3, 4, 5, 6 або 7 рядів) і в осьовому напрямку у великій кількості рядів, наприклад, від приблизно 75 до 100 рядів або більше 100 рядів. Усі ці різні тонкі трубки виходять по спіралі із трубки впускного колектора до трубки випускного колектора, до якої вони також приєднані з ущільненням, наприклад, за допомогою пайки. В інших варіантах реалізації даного винаходу напрямок потоку може бути змінений на зворотній таким чином, що впускні колектори розміщені в місці, спрямованому назовні в радіальному напрямку, а випускні колектори розміщені в місці, спрямованому усередину в радіальному напрямку, і повітря може протікати через теплообмінник у радіальному напрямку назовні, що по суті являє собою протитечію до охолоджувача в трубках, який може бути гелієм.

[0129] Крім того, при змінах температури під час експлуатації теплообмінника або з інших причин трубки впускного колектора залишаються прикріпленими по суті в певному положенні щодо внутрішньої втулки опори. Однак, внаслідок теплового розширення відбувається зміна довжини труб малого діаметра і різні спіральні секції скочують одна по одній круговим чином, і трубки випускного колектора також виконують переміщення відносно внутрішньої втулки опори. Отже, теплообмінник може бути термічно зациклений багато разів внаслідок істотного ослаблення термічної напруги, навіть при більше ніж 100 або до 200 або при більшій кількості повних циклів польоту.

[130] Крім того, у різних точках уздовж їх довжини, трубки в кожній спіральній секції можуть бути скріплені разом для забезпечення опори, наприклад, за допомогою зпаювання, і кожний ряд трубок, що сусідить із поруч сусідньою спіральною секцією, може бути поставлений відбивною перегородкою, роздільником або прокладкою, які повністю проходять уздовж трубок в осьовому напрямку і дещо в радіальному напрямку на приблизно від 1 до 10 міліметрів або близько до цього. Відбивні перегородки або прокладки в сусідніх спіральних секціях можуть із можливістю ковзання впиралися друг у друга, або відбивна перегородка або прокладка однієї спіральної секції можуть із можливістю ковзання взаємодіяти із сусідніми трубками потоку текучого середовища із сусідньої спіральної секції. Внаслідок опорного прикріплення трубок у кожній секції і примикання з можливістю ковзання не тільки всі спіральні секції здатні легко виконувати розширення і скорочення, як це їм необхідно під час термічного циклування, але радіальне лобове навантаження нагрівача, наприклад, повітря, що проходить через теплообмінник зовні і між трубками малого діаметра, може бути передане у внутрішньому (або зовнішньому) напрямку через усі ці спіральні секції в шляху великого по суті радіального навантаження, ніж може протидіяти внутрішня втулка опори, або зовнішня втулка опори у випадку потоку повітря, спрямованого в радіальному напрямку назовні.

[0131] У випадку теплообміну при протитечії між поширювальним в радіальному напрямку повітряним потоком (нагрівач), і протилежно поширювальним в радіальному напрямку закрученим у спіраль потоком гелієвого охолоджувача у вузьких трубках, скривлена система патрубків може бути передбачена в радіальному напрямку поза теплообмінником для скривлення при наближенні осьового потоку повітря до теплообмінника або при порушенні осьового потоку повітря, що залишає теплообмінник у випадку поширення в зовнішньому напрямку потоку повітря через теплообмінник. При використанні цього типу конструкції трубок теплообмінника відносно добре забезпечені і у випадку проблем, наприклад, при зіткненні із птахами або при влученні інших предметів, що викликають відмову двигуна після відриву від землі, малоімовірне ушкодження трубок з гелієм, двигун може легко бути відключений і зі зливом або без зливу палива для досягнення посадкової ваги нижче максимального значення

літальний апарат може мати гарну ймовірність виконання успішної посадки з відповідним відключеним двигуном.

[0132] Внутрішня втулка може бути постачена перфорованою конструкцією або конструкцією типу "пташина клітка" для забезпечення можливості нагрівачу, наприклад, повітря пройти через неї без істотних втрат. Втулка може містити кругові кільця на кожному своєму кінці у вигляді послідовності елементів лонжерона, взаємно розташованих на одній окружності і прохідних в осьовому напрямку, наприклад, приблизно від 10 до 50 зазначених елементів лонжерона, а також один або більшу кількість проміжних кругових кілець, розміщених на відстані одна від одної у вигляді послідовності уздовж втулки опори. Елементи лонжерона можуть бути розміщені один від одного приблизно на ту ж саму відстань, що і кільця, з утворенням по суті квадратних форм або проміжків, які можуть бути посилені Х-подібними діагональними елементами, так що всі перфорації опори, що проходять через внутрішню втулку, являють собою трикутники. Було виявлено, що ця конструкція забезпечує форму з малою вагою, яка в значній мірі міцна для протидії навантаженням, прикладеним до неї в радіальному внутрішньому напрямкові, які можуть бути прикладені до неї без утворення істотних втрат потоку, а також витримус гравітаційні і інерційні навантаження під час польоту. У випадку пристрою з переміщенням повітря в радіальному зовнішньому напрямку подібна втулка опори або "пташина клітка" можуть бути реалізовані в радіальному напрямку поза трубками з охолоджувачем.

[0133] Можливо розмістити одну або більшу кількість трубок проміжного колектора, розташованих у частині свого шляху уздовж маршруту трубок малого діаметра від їхніх впускних колекторів до їхніх випускних колекторів. Таким чином, ці трубки можуть бути концептуально розглянуті як "обрізана" частина шляху уздовж їх довжини, причому кожний з обрізаних кінців прикріплений до трубки проміжного колектора. Внутрішня трубка проміжної подачі може бути введена усередину трубки проміжного колектора для проходження по суті всього шляху уздовж її довжини, причому трубка проміжної подачі містить послідовність випускних отворів, сформованих у вигляді послідовності, що проходить уздовж її довжини. Під час експлуатації теплообмінника охолоджувач може бути введений у теплообмінник не тільки в трубках впускного колектора, але також і у внутрішніх трубках проміжної подачі, так що додатковий охолоджувач може бути доданий у трубках проміжного колектора, і різні швидкості масової витрати охолоджувача можуть мати місце в різних частинах теплообмінника, забезпечуючи можливість конструкції з одним теплообмінником діяти, як якби вона являла собою численну кількість різних теплообмінників, але з вартістю і складністю одного теплообмінника. Фахівцям у даній області техніки очевидно, що для додавання додаткової кількості охолоджувача в трубках проміжного колектора, тиском подачі в трубках проміжного колектора можна керувати так, щоб він був аналогічним або тим самим, як тиск сусіднього охолоджувача в трубках малого діаметра. Використання внутрішніх трубок проміжної подачі з послідовністю випускних отворів, утворених, таким чином, у вигляді певної послідовності, гарантує, що умови рівномірного потоку можуть бути досягнуті уздовж осьової довжини теплообмінника.

[0134] Теплообмінник згідно із переважним варіантом реалізації винаходу, призначеним для опису тут, містить систему керування утворенням інею і після польових випробувань, проведених для іспитового теплообмінника при конфіденційних умовах для Європейського космічного агентства від імені уряду Об'єднаного Королівства, Європейське космічне агентство підтверджує успішну демонстрацію пристрою керування утворенням інею в лабораторному масштабі. Перевірений теплообмінник включав у цілому більше 40 кілометрів трубок малого діаметра при вазі менше 50 кілограмів, і вхідний потік повітря був охолоджений до температури мінус 150 °C швидше, ніж за 20 мілісекунд. Ніяка закупорка інеєм не була помічена під час роботи при низькій температурі, і Європейське космічне агентство заявило, що вони певні, що тепер може бути виконане наземне демонстраційне випробування двигуна.

[0135] Таким чином, теплообмінник може бути оснащений однією або більшою кількістю зон з різким вигином у кожній спіральній секції, причому кожна зона з різким вигином містить коротку витягнуту в радіальному напрямку секцію. Таким чином, кожна спіральна секція не виконана повністю спіральною за формою, але містить першу по суті спіральну частину і потім коротку радіальну частину, супроводжувану іншою по суті спіральною частиною і так далі. Ця конструкція викликає наявність по суті дугоподібної форми блоку між різними вигинами сусідніх спіральних секцій.

[0136] Усередині проміжків дугоподібного блоку розташована послідовність одного або двох рознесених у радіальному напрямку і розташованих по колу зі зміщенням рядів елементів захоплення. Кожний елемент захоплення може містити трубку, що має внутрішність, яка може бути з'єднана із системою усмоктування для відсмоктування вмісту численної кількості

зовнішніх кишень, розміщених на відстані одна від одної уздовж елемента захоплення на його передній грані, причому кишені з'єднані за допомогою наскрізних отворів із внутрішністю трубки. Кишені на передній грані елемента захоплення можуть бути покриті сіткою розміром 50 мікрон з покриттям з окису кремнію, що утворює пористу передню поверхню кишені. Змочувальний реактив, відмінний від окису кремнію, може бути використаний в інших варіантах реалізації даного винаходу, як і сітки інших розмірів.

[0137] У цьому варіанті реалізації даного винаходу, при використанні метанолу або іншого матеріалу-антифризу, система інжекції розташована уверх за течією від елементів захоплення і при конденсації води з потоку відбувається її змішання з метанолом, що зберігає воду у вигляді рідини замість заморожування, і ця суміш відділена від потоку повітря за допомогою інерційного поділу при контакті з вологою сіткою елементів захоплення, з наступним відсмоктуванням за допомогою зниженого тиску через кишені і наскрізні отвори і віднесенням уздовж елементів захоплення. При наявності численної кількості зазначених зон різкого вигину в кожній спіральній секції ще один набір подібних елементів захоплення може бути використаний в утворені далі проміжках дугоподібного блоку. У цьому випадку, у прикладі, коли потік повітря йде в радіальному внутрішньому напрямку і охолоджується, наприклад, гелієм у вузьких трубках, чистий або відносно концентрований метанол може бути введений у саму далеку в радіальному напрямку секцію дугоподібного блоку або безпосередньо уверх за течією від нього і потім, щонайменше частково, пійманий у суміші з водою відповідними елементами захоплення, і ця більшою мірою розведена суміш може потім бути рециркульована далі в радіальному напрямку назовні в теплообміннику з більш високою температурою і піймана знову. Таким чином, можна вважати, що в цьому варіанті реалізації даного винаходу метанол виконує переміщення по суті у вигляді радіального протипотоку відносно повітря, що зменшує необхідне споживання метанолу для запобігання заморожування і закупорювання.

[0138] Метанол може бути повністю відділений від води після використання, але в якості альтернативи йому може бути дозволено проходити разом з подаваним у двигун повітрям у секцію згоряння двигуна, де він може сприяти тязі. Під час роботи системи керування тягою вага метанолу (продукт згоряння), інжектowanego назад із сопел головного ракетного двигуна, у деяких варіантах реалізації даного винаходу здатний додавати 2 % до величини тяги. Крім того, втрата ваги метанолу літальним апаратом може бути бажаною для забезпечення можливості досягнення більш високої швидкості літального апарата у відповідь на тягу двигуна пізніше під час польоту.

[0139] Описана тут система контролю над утворенням інею здатна зазвичай видаляти 99 % вмісту води з повітря.

[0140] Умовами в теплообміннику можна ретельно управляти таким чином, що при розгляді на фазовій діаграмі тверда фаза-рідина для води і метанолу середовище поблизу самих холодних елементів захоплення попадає в діапазон порядку 80 молярних відсотків або приблизно 88 вагових відсотків метанолу при наближенні температури до мінус 100 °C.

[0141] Два вищезгаданих рознесених в радіальному напрямку і розташованих по колу зі зміщенням ряди елементів захоплення можуть бути сформовані з передніми елементами ряду, розміщеними по колу приблизно на половині шляху між сусідніми елементами заднього ряду. Передні елементи захоплення можуть діяти як тіла необтічної форми, що відхиляють конденсат, який, можливо, накопився на вузьких утримуючих охолоджувач трубках у потоці по суті спрямованому до елементів захоплення в задньому ряді. Це означає, що приблизно 95 % текучого середовища, вилученого цими двома рядами, може бути вилучено заднім рядом і тільки 5 % переднім рядом. Таким чином, у деяких варіантах реалізації даного винаходу передній ряд елементів захоплення може бути замінений пасивним рядом елементів у вигляді тіл необтічної форми, які можуть бути виконані плоскими аркушами із щілинами або розрізами, що протистоять елементам захоплення.

[0142] Теплообмінник може бути постачений прокладками з фольги у формі відбивача в області коротких прохідних у радіальному напрямку частин трубок малого діаметра для забезпечення можливості напрямку потоку рідини до елементів захоплення, а не легко по найкоротшому шляху через трубки в областях цих радіальних секцій. Крім того, проміжки між трубками в цих прохідних в радіальному напрямку частинах переважно ущільнені.

[0143] Таким чином, припущено, що система контролю над утворенням інею може бути використана в нижній атмосфері для видалення води з потоку повітря таким чином, що не відбувається утворення інею і закупорювання теплообмінника. При підйомі літального апарата до верхніх шарів тропосфери і у стратосферу, наприклад, до висоти приблизно 10 кілометрів, близько того або дещо вище, більше немає кількості присутньої водяної пари, достатньої для утворення спричиненої проблеми зледеніння, і система контролю над утворенням інею може

бути виключена за допомогою відключення насосів метанолу і насосів, що забезпечують відсмоктування для елементів захоплення.

[0144] Навіть при тому, що якщо буде потреба теплообмінник здатний охолодити повітря до його точки скраплення поблизу отвору випуску повітря з теплообмінника, тобто близько до внутрішньої "пташиної клітки" при переміщенні потоку у внутрішньому радіальному напрямку, система контролю над утворенням інею встановлена так, що видалення значної більшості води з метанолом назад у теплообмінник відбувається при більш високій температурі. При дуже низьких температурах, нижче приблизно мінус 50 °C і далі весь шлях униз до температури приблизно мінус 140 °C будь-який залишившийся рідкий вміст метанол-вода, при його затвердінні, випробовує перетворення безпосередньо в масовий лід, а не в пір'ястий іній, який може бути утворений при більш високих температурах за допомогою прямої сублімації з пари, що меншою мірою викликає проблеми із блокуванням.

[0145] При поверненні назад в атмосферу з високою швидкістю літального апарата багаторазового використання, такого як літальний апарат SKYLON або подібного літального апарата, що використовує теплообмінник, повітрозабірні обтічники до двигуна можуть бути закриті. Навіть при відсутності прохідного через теплообмінник повітря гелій може циркулювати навколо трубок малого діаметра для запобігання перегріву теплообмінника і потенційно також розташованих поблизу компонентів, що нагріваються внаслідок аеродинамічного нагрівання через зовнішній корпус двигуна після впуску в щільні шари атмосфери.

[0146] В інших варіантах реалізації даного винаходу відмінні від гелію текучі середовища, наприклад, водень, можуть протікати уздовж внутрішності трубок теплообмінника. Замість роботи в якості теплообмінника на гелії/повітрі, теплообмінник може (наприклад) працювати в якості теплообмінника на водні/іншому текучому середовищі. У переважному варіанті реалізації даного винаходу трубки теплообмінника виконані по суті круговими в поперечному перерізі, хоча в інших варіантах реалізації даного винаходу можуть бути використані інші форми.

Короткий опис креслень

[0147] Даний винахід може бути виконаний різними способами і один переважний варіант реалізації теплообмінника, двигуна і літального апарата відповідно до даного винаходу буде тепер описаний в якості прикладу з посиланнями на прикладені креслення, на яких:

[0148] На фіг. 1A показаний вид збоку для одного переважного варіанта реалізації повітряного літального апарата, що містить двигун з теплообмінником відповідно до переважного варіанта реалізації даного винаходу;

[0149] На фіг. 1B показаний вид зверху повітряного літального апарата по фіг. 1A;

[0150] На фіг. 1C показаний вид ззаду повітряного літального апарата по фіг. 1A;

[0151] На фіг. 2 схематично показаний вид двигуна відомого рівня техніки;

[0152] На фіг. 3 схематично показана схема циклу для двигуна по фіг. 2, який був модифікований для включення теплообмінника відповідно до переважного варіанта реалізації даного винаходу;

[0153] На фіг. 4A показаний ізометричний вид переважного варіанта реалізації теплообмінника відповідно до даного винаходу, причому теплообмінник використаний як модифікований теплообмінник у модифікації двигуна по фіг. 2 із циклом, показаним на фіг. 3;

[0154] На фіг. 4B показаний докладний вид області A на фіг. 4A;

[0155] На фіг. 5A показаний перетин теплообмінника по лінії Y-Y на фіг. 5B;

[0156] На фіг. 5B показаний вид збоку теплообмінника, розглянутого в радіальному внутрішньому напрямку;

[0157] На фіг. 6 показаний ізометричний вид "пташиної клітки" у вигляді барабана або перфорованої опори втулки для теплообмінника;

[0158] На фіг. 7A докладно показаний вид деталі A на фіг. 7E;

[0159] На фіг. 7B докладно показаний вид деталі B на фіг. 7E;

[0160] На фіг. 7C докладно показаний вид деталі C на фіг. 7E;

[0161] На фіг. 7D докладно показаний вид деталі D на фіг. 7E;

[0162] На фіг. 7E схематично показаний перетин через спіральну секцію теплообмінника, показаного на фіг. 7F, при розгляді знизу уверх на фіг. 7F;

[0163] На фіг. 7F показаний ізометричний вид спіральної секції трубок теплообмінника;

[0164] На фіг. 8A показаний вид, подібний фіг. 7F, але з вилученою істотною часткою трубок теплообмінника в спіральній секції для ясності, для вказівки положень перегородок уздовж скривленої по суті кругової довжини секції теплообмінника;

[0165] На фіг. 8B показаний докладний ізометричний вид деталі E на фіг. 8A;

[0166] На фіг. 8C показаний докладний ізометричний вид деталі F на фіг. 8A;

- [0167] На фіг. 9А показаний вид у вертикальному розрізі ззаду теплообмінника в напрямку 9А на фіг. 9В;
- [0168] На фіг. 9В показаний вид у розрізі теплообмінника на двох площинах, представлених лінією А-А на фіг. 9А;
- 5 [0169] На фіг. 10А показаний елемент опори по фіг. 6 з додатковими башмаками лонжерона, прикріпленими до елементів лонжерона опори і з компонентами спіральної секції, показаної на фіг. 8А, прикріпленими навколо неї спіральним чином;
- [0170] На фіг. 10В показаний докладний ізометричний вид деталі А на фіг. 10А;
- 10 [0171] На фіг. 11А показаний вид з торця опори по фіг. 6 з усіма 21 прикріпленими спіральними секціями, але з опущеними для цілей ясності елементами захоплення і кільцем інжекції метанолу;
- [0172] На фіг. 11В показаний докладний вид у вертикальному розрізі деталі А на фіг. 11А;
- [0173] На фіг. 12А показаний вид у вертикальному розрізі попереду вузла інжектора метанолу в теплообміннику;
- 15 [0174] На фіг. 12В показаний перетин у площині А-А на фіг. 12А;
- [0175] На фіг. 12С показаний докладний вид деталі В на фіг. 12В;
- [0176] На фіг. 12D показаний докладний вид деталі С на фіг. 12В;
- [0177] На фіг. 12Е показаний частково вкорочений вид у розрізі на площині D-D на фіг. 12G, що показує один з вузлів трубки інжектора для вузла інжектора;
- 20 [0178] На фіг. 12F показаний докладний вид деталі Е на фіг. 12Е;
- [0179] На фіг. 12G показаний вид у вертикальному розрізі уздовж напрямку 12G на фіг. 12Е для вузла трубки інжектора;
- [0180] На фіг. 12H показаний ізометричний вид вузла інжектора по фіг. 12А;
- [0181] На фіг. 13А показаний ізометричний вид частини зовнішнього вузла захоплення для
- 25 видалення рідини з теплообмінника в системі контролю над утворенням інею;
- [0182] На фіг. 13В показаний ізометричний вид частини компонентів, показаних на фіг. 13А;
- [0183] На фіг. 13С показаний вид з торця компонентів, показаних на фіг. 13А;
- [0184] На фіг. 13D показаний перетин по площині C-C на фіг. 13С;
- [0185] На фіг. 13Е показаний вид, аналогічний фіг. 13С, але з вилученою пластиною
- 30 колекторної трубки захоплення з вузла захоплення;
- [0186] На фіг. 13F показаний докладний вид деталі D на фіг. 13Е;
- [0187] На фіг. 13G показаний вид у вертикальному розрізі в круговому напрямку (навколо центральної осі барабана теплообмінника) частин, показаних на фіг. 13А;
- [0188] На фіг. 13H показаний перетин по площині А-А на фіг. 13G;
- 35 [0189] На фіг. 13I показаний докладний вид деталі В на фіг. 13H;
- [0190] На фіг. 14А показаний вид у вертикальному розрізі в круговому напрямку трубки захоплення для гідроформованого вузла захоплення;
- [0191] На фіг. 14В показаний поперечний профіль гідроформованої трубки захоплення по
- 40 фіг. 14А на її круговому гладкому кінці;
- [0192] На фіг. 14С показаний профільний перетин трубки захоплення по фіг. 14А у піднятій точці профілю, показаного на фіг. 14А, на одному кінці кожного із двох сусідніх кишень захоплення рідини;
- [0193] На фіг. 14D показаний профіль трубки на півшляху між двома такими кінцями з кишнями;
- 45 [0194] На фіг. 14Е показаний аксонометричний вид трубки по фіг. 14А;
- [0195] На фіг. 14F показаний перспективний вид у перетині трубки по фіг. 14А з покритим двоокисом кремнію сіткою, щільно обгорненою навколо неї;
- [0196] На фіг. 15 схематично показаний вид модифікованого варіанта спіральних секцій, що включають проміжний колектор;
- 50 [0197] На фіг. 16 схематично показаний вид, що показує теплообмінник і проточний канал для текучого середовища в проміжному колекторі;
- [0198] На фіг. 17 схематично показаний вид частини спіральної секції, розглянутий у напрямку 17 на фіг. 15;
- [0199] На фіг. 18 схематично показана модифікована система інжекції, у якій метанол (або
- 55 інший антифриз) перетерплює рециркуляцію і інжекцію в потік повітря більше одного разу;
- [0200] На фіг. 19А показана пластина прокладки, використовувана з елементами захоплення вузлів захоплення;
- [0201] На фіг. 19В показана пластина прокладки по фіг. 19А, розміщена відносно елементів
- 60 захоплення;
- [0202] На фіг. 19С показаний частковий вид з торця теплообмінника;

[0203] На фіг. 19D показаний докладний вид деталі Е по фіг. 19С;

[0204] На фіг. 20А показаний вид попереду теплообмінника з вилученими для ясності круговими колекторними трубками кільця захоплення і їх S-подібними сполучними шлангами;

[0205] На фіг. 20В показаний докладний вид деталі А по фіг. 20А;

5 [0206] На фіг. 21А схематично показаний теплообмінник, розміщений навколо випускного патрубку разом із двома пасивними модулями, причому випускний патрубок іде в поздовжньому напрямку до повітряного компресора двигуна; і

[0207] На фіг. 21В показаний докладний вид деталі В по фіг. 21А.

Здійснення винаходу

10 [0208] Як показано на фіг. 1А, 1В і 1С, повітряний літальний апарат 10 із висувним шасі 12, 14, 16 має фюзеляж 18 із запасами 20, 22 палива і окиснювача і відсік 24 корисного навантаження. Переміщуваний пристрій 26 хвостового стабілізатора і усі переміщувані пристрої 28 носового керма прикріплені до фюзеляжу 18. Основні крила 34 з елевонами 36 прикріплені до обох сторін фюзеляжу 18 і кожне крило 34 містить модуль 38 двигуна, прикріплений до кінцевої частини 40 крила. Як показано на фіг. 1С і 2, хвостова частина кожного модуля 38 двигуна забезпечена чотирма ракетними соплами 40, оточеними різними пропускними форсунками або пристроями для допалювання палива в другому контурі (bypass burner) 42.

20 [0209] Як показано на фіг. 2, модуль 38 двигуна відомого рівня техніки містить повітрязабірник 43, теплообмінник 44 із чотирьох частин, турбокомпресор 46 і циклічні трубопроводи 48. У режимі споживання повітря модулем 38 двигуна усередині атмосфери Землі, частину набіжного потоку повітря, що проходить через повітрязабірник 43, проходить через теплообмінник 44 до турбокомпресора 46, а частина обходить уздовж пропускного патрубка 50 до пропускних форсунок 42.

25 [0210] У переважному варіанті реалізації даного винаходу теплообмінник 44 відомого рівня техніки замінений на теплообмінник або на пристрій 52 попереднього охолодження або на численну кількість зазначених теплообмінників 52, здатних працювати паралельно.

[0211] На фіг. 3 схематично показаний цикл для модифікованого модуля 38 двигуна, який був спрощений з метою ясності, показуючи тільки одне ракетне сопло 40 замість чотирьох.

30 [0212] Таким чином, як показано на фіг. 3, у режимі споживання повітря воно входить у забірник 43 і проходить або до теплообмінника 52 або через пропускний патрубок 50 до пропускних форсунок 42. Повітря, що проходить через теплообмінник 52, потім зазнає стиснення в компресорі 54 турбокомпресора 46 перед проходженням через клапан 56 до ракетного сопла 40 і частково також до камери 58 попереднього згоряння перед проходженням через теплообмінник 60 перед проходженням з незгорілим воднем у продуктах вихлопу камери попереднього згоряння для подальшого згоряння в ракеті 40.

35 [0213] Насос 62 рідкого водню, відомий турбіною 64, переміщує водень через теплообмінник 66 і турбіну 64 через турбіну 68 з пристроєм 70 циркуляції гелію до камери 58 попереднього згоряння для часткового згоряння в камері попереднього згоряння, хоча частина рідкого водню може бути перепущена клапаном 72 уздовж трубопроводу 74 для згоряння в пропускних форсунках 42.

40 [0214] Пристрій 70 циркуляції гелію містить компресор 76, який переміщує газоподібний гелій через теплообмінник 52 у протитечійному теплообміні з повітрям, що проходять у протилежному напрямку (при розгляді радіальних компонентів шляхів повітря і гелію), причому гелій потім проходить через теплообмінник 60 перед проходженням через турбіну 78 для гелію до охолодження воднем у теплообміннику 66 і потім проходить назад у компресор 76 для гелію. У цьому режимі споживання повітря повітряний літальний апарат 10 у змозі злетіти горизонтально зі стаціонарного положення на землі 80 (фіг. 1А).

45 [0215] При польоті повітряного літального апарата 10 на великій швидкості, що складає приблизно 5 Мах, він може виконати перемикання з режиму споживання повітря в повно-ракетний режим. У повно-ракетному режимі повітрязабірник 43 закритий; шлях водню через циклічний трубопровід 48 аналогічний шляху в режимі споживання повітря, хоча ніякий водень не відхилений клапаном 72 у пропускну форсунку 42. Турбокомпресор 46 не активний. У схемі гелію газоподібний гелій тепер тече з компресора 76 для гелію через теплообмінник 52 і теплообмінник 60, але потім до турбіни 82 до повернення до теплообмінника 66 і потім до компресора 76 для гелію. Турбіна 82 для гелію керує насосом 84 для рідкого кисню, який направляє кисень до ракетного сопла 40, а також частково через камеру 58 попереднього згоряння і потім в якості продукту вихлопу камери попереднього згоряння, разом з незгорілим воднем до ракетного сопла 40 для згоряння в ньому. Клапан 56 закритий у повно-ракетному режимі.

[0216] У повно-ракетному режимі повітряний літальний апарат 10 може бути прискорений до більших чисел Маха і виведений на орбіту.

[0217] Як показано на фіг. 6, теплообмінник 52 містить опору у формі центральної пташиної клітки або по суті циліндричного перфорованого барабана 84. Барабан 84 містить два кінцевих опорних кільця 86, розміщених із проміжком один від одного, і три проміжні опорні кільця 88, які розміщені з однаковими проміжками один від одного між кінцевими опорними кільцями 86. Послідовність із 21 елемента 90 лонжерона проходить уздовж між двома кінцевими опорними кільцями 86 і підтримана всіма п'ятьма опорними кільцями 86, 88. Елементи 90 лонжерона являють собою по суті плоскі, орієнтовані в радіальному напрямку і тонкі пластини. Елементи 90 лонжерона прикріплені елементами 92 у вигляді котушки з нарізаним різьбленням до двох кінцевих опорних кільць 86 і мають послідовність із трьох щілин 94 поблизу спрямованих у радіальному напрямку її внутрішніх країв 96. Щілини 94 проходять на відстань приблизно від однієї чверті до трьох чвертей радіальної довжини уздовж кожного елемента 90 лонжерона і забезпечують можливість опорної взаємодії між елементами 90 лонжерона і проміжними опорними кільцями 88. Проміжні опорні кільця 88 також містять відповідні щілини, що забезпечують можливість взаємодії, показаної на фіг. 6.

[0218] Опорний барабан 84 також містить внутрішню трубку 98 елемента твердості, який містить перфорований трубчастий елемент, що має поздовжні елементи, взаємодіючі уздовж усієї довжини кожного з елементів 90 лонжерона елементів, що проходять по колу, 102, що проходять по колу уздовж усього кругового шляху і взаємодіючих з кожним з опорних кілець 86, 88, а також з Х-подібними сполучними елементами 104, розміщеними поруч зі зазвичай квадратними проміжками 106, утвореними між різними елементами 90 лонжерона і опорними кільцями 86, 88. Таким чином, трубка 98 елемента твердості утворює дуже тверду перфоровану решітку усередині барабана 84, призначену для протистояння поперечним силам. Барабан здатний сприймати високе навантаження в радіальному внутрішньому напрямку і чотири трикутники, утворених в області кожного Х-подібного сполучного елемента 104, забезпечують можливість проходження істотного потоку повітря в радіальному напрямку через перфорований барабан 84 без істотного перепаду тиску.

[0219] Як показано на фіг. 10А, 21 спіральних секцій трубопроводу, тільки одна з яких показана і яка лише частково показана на цій фігурі, можуть бути прикріплені навколо перфорованого барабана із впускним колектором 106 кожної модульної спіральної секції 108, прикріпленим до опорного барабана 84, причому спіральна секція 108 закручена по спіралі в зовнішньому радіальному напрямку з видаленням від центральної осі барабана 84, коли вона проходить по колу по суті на 360° навколо опорного барабана 84 до трубки 110 впускного колектора. В інших варіантах реалізації даного винаходу кожна спіральна секція 108 може бути модифікована для проходження навколо на більший або менший кут. Як можна бачити на фіг. 10А, модульна спіральна секція 108 містить першу 112' і другу 114' секції з різким вигином, що містять короткі прохози в радіальному напрямку секції трубки теплообмінника, як буде описано нижче. В інших варіантах реалізації даного винаходу можуть бути використані більше двох таких секцій з різким вигином, наприклад, три, чотири або п'ять у кожній спіральній секції 108.

[0220] На фіг. 10В показано, як трубка 106 впускного колектора містить послідовність із п'яти монтажних фланців 112 (тільки частина з яких показана на фіг. 10В), що містять отвори (не показані), які взаємодіють із затискним стрижнем 114, призначеним для фіксації трубки 106 впускного колектора в певному положенні відносно кожного з опорних кілець 86, 88. Як можна бачити на фіг. 10В, необов'язковий черевик 116' лонжерона покриває виступаючий у радіальному напрямку зовнішній край кожного елемента 90 лонжерона для захисту спіральних секцій 108, які можуть взаємодіяти з ним. Черевики 116' лонжерона не використані в інших варіантах реалізації даного винаходу. Фіг. 8А також показує розташування перегородок 116, регулярно рознесених уздовж спіральних секцій 108.

[0221] На фіг. 8В показано, що впускний колектор 110 (і аналогічно впускний колектор 106) містить усередині себе послідовність із 800 отворів 118, виконаних з можливістю прийняття 800 відповідних трубок 120 теплообміну з гелієм, тільки три з яких показані на фіг. 8В. В інших варіантах реалізації даного винаходу може бути використано менше або, у дійсності, більше таких трубок 120. Трубки 120 з гелієм впаяні в отвори 118. Для підготовки трубок 120 для гелію до пайки переважно проведення сканування трубок на наявність дефектів, вимірювання товщини стінок (внутрішнього діаметра), проведення випробування тиском, після чого трубки при необхідності електрохімічно фрезерують, миють, висушують і потім обрізають і надають їм потрібну форму. Переважно проведення пайки під вакуумом.

[0222] Трубки 120 для гелію розміщені у вигляді 200 рядів на відстані один від одного уздовж осевого напрямку колекторів 106, 110 і чотирьох рядів у радіальному напрямку. Трубки 120 для

гелію проходять увесь шлях від кожного впускного колектора 106 до кожного випускного колектора 110. Оскільки має місце 21 спіральна секція 108 і кожна трубка 120 має довжину приблизно 2-3 метра, теплообмінник 52 містить приблизно 40 кілометрів трубок 120. Діаметр трубок 120 складає приблизно 1 міліметр або дещо більше і товщина стінок складає приблизно від 20 до 40 мікрон.

[0223] На фіг. 8С показано, як трубки 120 проходять різкі вигини 112', 114' з короткими радіальними частинами 122 і J-подібними плівками або виступами 124, розташованими з обох сторін різних вигинів 112', 114' для напрямку потоку від радіальних частин 122. Це також показано на фіг. 7В. Як може бути помічене на фіг. 7А у місцях розташування 116 перегородки, елементи 125 перегородки секції маршруту припаяні до внутрішньої сторони кожного із чотирьох рядів трубок 120 для гелію 120 у будь-якій заданій спіральній секції 108, і пласка прокладка 126 розміщена на зовнішній стороні прохідних у зовнішньому радіальному напрямку трубок 120 у чотирьох рядах. Елементи 125 виконані за допомогою сплющування трубки в такий самий спосіб, як трубок 120 для гелію. Елементи перегородки і пластини 126 прокладки проходять в осьовому напрямку уздовж повної довжини всіх 200 рядів трубок 120 в осьовому напрямку. Як показано на фіг. 11В, місця 116 розташування перегородок в 21 спіральній секції 108 по суті вирівняні одна відносно іншої скрізь, де є елемент 90 лонжерона, так, щоб бути ортогональними до матричних трубок 120, хоча має місце невеликий кутовий зсув від дійсного радіального напрямку R (див. фіг. 11В) відносно центральної осі 128 теплообмінника 52 (див. фіг. 11А). Отже, черевик 116' на елементі 90 лонжерона взаємодіє з нижнім елементом 125 перегородки першої спіральної секції 108 і радіальна сила може бути передана через місце розташування 116 перегородки до пластини 126 прокладки, яка взаємодіє з нижньою частиною іншого прохідного у радіальному внутрішньому напрямку елемента перегородки для наступної спіральної секції із внутрішнім вкладенням. Після 11-ої спіральної секції 108 прохідний у радіальному напрямку I-подібний стрижень 130 здатний передавати по суті радіальне навантаження до наступної спіральної секції 108. Після ще семи наборів елементів 125 перегородок і прокладок 126 із ще семи спіральних секцій 108 має місце додатковий по суті прохідний у радіальному напрямку I-подібний стрижень 130, призначений для передачі радіального навантаження, і потім мають місце ще три секції 108, що проходять у радіальному напрямку, поки спіральні секції 108, усі двадцять одна з них, не будуть повністю полічені. Ця конфігурація всього лише ілюстративна і може бути іншою в інших варіантах реалізації винаходу.

[0224] При роботі теплообмінника має місце істотний потік повітря, що затікає в радіальному напрямку, повз усі трубки 120, що додає до них істотне аеродинамічне навантаження у внутрішньому радіальному напрямку. Цьому навантаженню протистоять по суті розташовані на одній лінії пластини 126 прокладки, елементи 125 перегородки, I-подібні стрижні 130 і елементи 90 лонжерона, які орієнтовані по суті в радіальному напрямку. Відповідно до цього, незважаючи на досить істотні аеродинамічні навантаження, трубки 120 можуть бути надійно підтримані.

[0225] У деяких випадках, зокрема при високих значеннях числа Маха, температура повітря на впуску в теплообмінник 52 на самій віддаленій у радіальному напрямку стороні зокрема може бути істотною, наприклад, що перевищує 800 або навіть 1000 °C. Ця зміна температури може викликати істотну зміну температурних умов відносно трубок 120, які, зокрема, можуть збільшувати свою довжину зі збільшенням температури. Отже, хоча трубка 106 впускного колектора прикріплена в певному положенні до перфорованого барабана 84 опори, вихідні колектори 110 можуть виконувати переміщення при збільшенні довжини трубок 120. Таким чином, пластини 126 прокладки з кожної спіральної секції 108 здатні сковзати відносно сусідніх елементів 125 перегородки, що забезпечує можливість ковзання по суті у вигляді переміщення по колу спіральних секцій 108 відносно одна одної. При подовженні трубок 120 внаслідок збільшення температури лінія тяги розташування 116 перегородок через елементи 125 перегородки, пластини 126 прокладки і I-подібні стрижні 130 може робити поворот для більшого збігу з дійсно радіальним напрямком R від центральної осі 152 теплообмінника 52. Лінія елементів 125 перегородки підтримана по суті ортогональною до трубок 120. Отже, теплове розширення і скорочення трубок у круговій (по всій довжині) секції трубок 120 може бути враховане. Природно, що трубки 120 і інші компоненти можуть виконувати розширення в радіальному напрямку при їх розширенні і скороченні з температурою і допуск на це також передбачений.

[0226] Як можна бачити на фіг. 7D, кожна трубка 106 впускного колектора оснащена сполучними деталями 140 впускного колектора з обох її кінців, а трубки випускного колектора 110 оснащені сполучними деталями 142 випускного колектора на їхніх відповідних двох кінцях. Як показано на фіг. 4А і 5В, сполучні деталі 140 впускного колектора на одному кінці впускних

колекторів 106 зв'язані по текучому середовищу за допомогою гнучких шлангів 144 із впускною колекторною трубкою 146 для потоку гелію, а сполучні деталі випускного колектора 142 на тому ж самому їхньому кінці зв'язані по текучому середовищу за допомогою гнучких шлангів 148 з кільцевою колекторною трубкою 150 випускного отвору гелію для гелію.

5 [0227] Сполучні деталі 140 впускного колектора на іншому кінці трубок 106 колектора можуть бути заблоковані або можуть бути зв'язані по текучому середовищу через кільцеву колекторну трубку зі сполучною деталлю 140 сусіднього колектора. Те ж саме має місце для сполучних деталей колектора 142 на іншому кінці випускних трубок 110 колектора.

10 [0228] Як може бути помічено, наприклад, на фіг. 11A і 11B, по суті прямокутні (але дугоподібні) кишені (або коробчатсті перерізи) 160 створені, простираючись в осьовому напрямку весь шлях уздовж теплообмінника 52 між трубками 120 із сусідніх спіральних секцій 108 в областях I-подібних стрижнів 130 і відповідних різких вигинів 112', 114'. Ці по суті прямокутні, але дугоподібні кишені 160 містять елементи 162 захоплення системи контролю над утворенням інею в теплообміннику 52, який буде тепер описаний.

15 [0229] Як показано на фіг. 4A і 12A, трубка 170 подачі метанолу подає метанол до кільцевої галереї 172, що складається з кільця 174 інжекції метанолу. Частини 176 у галереї 172 являють собою перетини через трубки 214, де вони входять у галерею 172. Кільце інжекції метанолу містить послідовність 180 вузлів 182 трубок інжектора (фіг. 12E) (даний пристрій може бути іншим в інших варіантах реалізації винаходу), розташованих круговим чином у вигляді
20 послідовності на відстані одна від одної навколо теплообмінника 52, причому кожний вузол 182 трубки інжектора містить трубку 184 інжектора, що проходить в осьовому напрямку між кільцевою колекторною трубкою 173, що утворює кільцеву галерею 172, і додаткове опорне кільце 175, до якого прикріплені кінці, що сходять на конус, 190 торцевих заглушок 192. Кожна із трубок 184 інжектора містить послідовність із 22 отворів 194 інжекції (одна з яких показана на
25 фіг. 12F), розміщених на відстані одна від одної уздовж трубки в послідовності уздовж трубки 184, причому діаметр кожного з отворів 194 складає 0,2 мм. Кінець 196 кожної трубки, протилежний до збіжного на конус кінця 190, прикріплений до сполучної деталі 198 інжектора, що містить некруговий фланець 200 з фаскою 202 для обертальної орієнтації трубки 184 за допомогою узгодження фаски 202 з відповідним утворенням в опорному кільці 177, прикріпленому до кільця 173. Кругове ущільнення 204 передбачено для ущільнення кругової канавки 206 у сполучній деталі 198.

[0230] При роботі насоса 210 для метанолу (фіг. 3) для прокачування метанолу уздовж трубопроводу 212, який приєднаний до трубки 170 подачі метанолу, метанол під тиском проходить через галерею 172 і через канали 214 подачі кільця 173 і внутрішні канали 216
35 сполучних деталей 198 для закачування метанолу усередину трубок 184, і потім виведення його через інжекційні отвори 194. Відповідно до цього метанол інжектують у потік повітря саме для входу в об'єм, визначений спіральними секціями 108 трубок 120.

[0231] Метанол здатний запобігти утворенню льоду в теплообміннику 52, який блокував би потік повітря через теплообмінник. Метанол знижує температуру замерзання водних крапельок, конденсованих усередині теплообмінника, і для виконання цього істотна частка метанолу і води
40 спільно вилучена з потоку повітря елементами захоплення, як буде тепер описано.

[0232] Кожна зовнішня кишеня із двох кишень 160, показаних на фіг. 11B, містить дев'ять взаємно рознесених елементів захоплення, розміщених усередині його, і кожна внутрішня кишеня з кишень 160 містить сім елементів 162 захоплення, розміщених у ньому. Тепер будуть
45 описані елементи 162 захоплення з посиланнями на фіг. 13A-14D. Ці фігури показують один зовнішній вузол 240 захоплення, що містить дев'ять елементів захоплення. Внутрішні вузла захоплення виконані аналогічними за винятком кількості елементів захоплення (оскільки вони містять тільки сім елементів). Як показано на фіг. 13A і 13H, кожний вузол 240 захоплення містить зовнішній ряд 242 із чотирьох елементів 162 захоплення і внутрішній ряд 244 з п'яти
50 елементів 162 захоплення. І знову, в інших варіантах реалізації винаходу кількість елементів захоплення і кількість різких вигинів і рядів (у радіальному напрямку) кишень може бути іншими. Кожний елемент 162 захоплення являє собою гідросформовану трубку 246 зі змінним поперечним перерізом уздовж її довжини, як показано на фіг. 14A-14D. Зокрема, трубка 246 виконана круговою у поперечному перерізі на відповідних її кінцях 248, 250 і містить вісім
55 кишенькових знижень 252, утворених на ній між піками 254, причому поперечний переріз трубки 246 показано на фіг. 14C, а поперечний переріз у середній точці 256 між піками 254 такий, як показано на фіг. 14D, де мають місце дві ввігнуті в зовнішньому напрямку частини 258. Як показано на фіг. 13I, трубки 246 покриті сіткою 258 фільтра з нержавіючої сталі розміром 50 мікрон (в інших варіантах реалізації даного винаходу можуть бути використані інші сітки), яка
60 покрита змочувальним реактивом, наприклад, окисом кремнію. Кожна сітка 258 виконана по суті

циліндричною (вона може бути іншою в інших варіантах реалізації винаходу), і утворює пару порожнин 260, 262 у кожному зі знижень 252 кишені, так що всього мають місце шістнадцять порожнин 260, 262 на трубку 246 захоплення. Отвори 264 для продувки проходять через стінку трубки 246 у кожній порожнині 260, 262 (їх кількість може бути іншою в інших варіантах реалізації даного винаходу). Вузол 240 захоплення містить пластину 270 керування, а один кінець 248 кожної трубки 246 захоплення прикріплений до не виконуючої поворот сполучної деталі 272 таким чином, що всі дев'ять трубок 246 елемента захоплення пов'язані із внутрішністю вузла 274 колекторної трубки усмоктування елемента захоплення, що містить порт 276 усмоктування, що приводить через систему трубок 278 (фіг. 3) до джерела 280 усмоктування. Елементи 162 захоплення здатні працювати інвертованими, а також при використанні в будь-якому, що зазнає прискорення в осьовому або іншому напрямку літальному апараті.

[0233] Як показано на фіг. 13A і 13D, вилучені кінці 282 елементів 246 захоплення надійно закриті кінцевими заглушками 284.

[0234] Слід мати на увазі, що пластини 270 керування захопленням містять прохідні через них кругові отвори. Трубки 110 випускного колектора 110 теплообмінника 52 проходять через ці отвори 290. Також видно, що пластини 270 захоплення містять дев'ять додаткових отворів 292. Причина цього полягає у тому, що сусідній вузол 240 захоплення віддалений на один проміжок у круговому напрямку навколо теплообмінника 52, розміщений з колекторною трубкою 272 і кінцевими заглушками 284 на протилежних кінцях. Отже, отвори 292 служать для зачеплення навколо кругових кінців 250 елементів 162 захоплення із сусіднього вузла 240 захоплення таким чином, щоб усі трубки 246 захоплення були підтримані на обох кінцях. При застосуванні зниженого тиску до порту усмоктування 276 відбувається усмоктування в отворах 266 продувки. При наявності метанолу і води в рідкій формі в області елемента 162 захоплення, при торканні рідиною сітки 258, покритої окисом кремнію, вона змочує сітку 258 і відбувається усмоктування через сітку (порожнини 262, що працюють при низькому тиску внаслідок малих пор сітки) у порожнині 262, 260/кишені 252, потім через отвори 266 продувки і уздовж внутрішньої частини трубок 246 захоплення до відповідної колекторної трубки 274 і порту 276 усмоктування. Отвори 266 продувки керують повітряним потоком, просмоктуваним з рідиною, до низького рівня. Таким чином, істотна частка водяної пари в потоці набігаючого повітря може бути вилучена з потоку, так що теплообмінник 52 не блокується льодом. Хоча сітка 258 показана для ясності із круговим перетином на фіг. 13I, сітка фактично витягнута, як показано на фіг. 14F, для більш плоскої конфігурації над порожнинами 262/260/кишенями 252. Як показано на фіг. 14E, виступи (або скошені крайки) 254 виконані по суті плоскими. Скошені крайки 254 зачіпають сітку 258 для відділення кишень одна від одної. Таким чином, якщо одна кишень втрачає свою цілісність, наприклад при влученні уламків у теплообмінник, інші кишені 252 залишаються працюючими.

[0235] Як показано на фіг. 4B, зовнішні вузли 274 колекторної трубки усмоктування при захопленні з'єднані гнучкими S-подібними вакуумними трубками 300 (S-подібна форма забезпечує можливість обліку неузгодженостей при виробництві і теплового розширення, але не обов'язково повинна бути використана в інших варіантах реалізації даного винаходу) з кільцевою колекторною трубкою 302 елемента захоплення при контролі наростання інею, а пластини 304 колекторної трубки внутрішнього елемента захоплення (відповідні до пластин 274 колекторної трубки, але тільки для семи елементів захоплення) приєднані аналогічними S-подібними гнучкими шлангами 306 до кільцевої колекторної трубки 308 елемента захоплення при контролі наростання інею. Кільце 308 приводить до вакуумного випускного трубопроводу 309, а кільце 306 приводить до вакуумного випускного трубопроводу 307, обоє з яких ведуть через систему трубок 278 до джерела 280 вакууму.

[0236] Оскільки мають місце аналогічні пластини 272, 304 вакуумної колекторної трубки на протилежному осьовому кінці теплообмінника, аналогічний пристрій S-подібних гнучких шлангів 300, 306 і кільцеві колекторні трубки елемента захоплення при контролі наростання інею також забезпечені на цьому кінці, як показано на фіг. 5B, причому однакові позиційні позначення відносяться до однакових елементів.

[0237] З фіг. 13H очевидно, що відстань між елементами 162 захоплення уздовж довжини кожного з рядів 242, 244 складає приблизно одну третину від діаметра елементів 162 захоплення. Також слід зазначити, що відстань між елементами 162 захоплення в ряді 242 і елементами захоплення в ряді 244 приблизно однакова або дещо менша. При наближенні рідких крапельок 400 до зовнішнього ряду 242 вони можуть виконувати переміщення і обертання приблизно так, як показано стрілками 402. Краплі течуть через матрицю трубок 120 і під час їх росту на трубках фокусуються в поперечному напрямку повітряним потоком, що прискорюється в проміжках між елементами 162 із зовнішнього ряду 242. Отже, крапельки 400

мають тенденцію бути відхиленими елементами 162 захоплення в першому ряді 242, для переміщення майже прямо до елементів 162 захоплення в наступному ряді 244. На практиці це означає, що елементи 162 захоплення в ряді 242 можуть діяти як тіла необтічної форми і приблизно 5 % води, витягнутої вузлом 240 захоплення, може бути витягнуто в передньому (у сенсі напрямку потоку повітря) ряду 242 і 95 % у наступному ряду 244. В інших варіантах реалізації даного винаходу елементи 162 захоплення з переднього ряду 242 можуть бути замінені твердими тілами без сітки і функції усмоктування.

[0238] При роботі теплообмінника 52 температура у внутрішніх елементах захоплення і/або в зовнішніх елементах захоплення може бути контрольована датчиком 350 температури, який може посылати дані в контролер 352 (фіг. 3), який може управляти клапаном, наприклад, клапаном 354 із частиною у вигляді відхильника 356 для зміни потоку гелію через теплообмінник 52. Таким або схожим чином можна управляти температурою в елементах 162 захоплення. Вода і метанол, вилучені з потоку повітря, можуть бути додані назад у потік повітря, що наближається до ракетного сопла 40, що в деяких варіантах реалізації даного винаходу може додати 2 % до величини тяги. Втрата ваги метанолу з літального апарата може бути бажаною також для забезпечення можливості досягнення більш високої швидкості літального апарата у відповідь на тягу двигуна пізніше під час польоту. Описана тут система контролю над утворенням інею може зазвичай видаляти 99 % вмісту води з повітря. Тільки що описане керування, забезпечуване контролером 352, може бути таке, що на фазовій діаграмі тверде тіло-рідина для води і метанолу навколишнє середовище в околиці самих холодних елементів 162 захоплення попадає в діапазон приблизно 65 молярних відсотків або приблизно 82 вагових відсотків метанолу при наближенні температури приблизно до -100°C . Навіть при тому, що якщо буде потреба теплообмінник здатний охолодити повітря до його точки скраплення поблизу отвору випуску повітря з теплообмінника, система контролю над утворенням інею встановлена так, що видалення значної більшості води з метанолом назад у теплообмінник відбувається при більш високій температурі. При дуже низьких температурах нижче приблизно мінус 50°C і далі весь шлях униз до температури приблизно мінус 140°C будь-який рідкий вміст, що залишається, метанол-вода, при його затвердінні, зазнає перетворення безпосередньо в масовий лід, а не в пір'ястий іній, який може бути утворений при більш високих температурах за допомогою прямої сублімації з пари, що меншою мірою викликає проблеми із блокуванням.

[0239] Як показано на фіг. 15, спіральні секції 108 можуть бути модифіковані для включення проміжного колектора 440. Проміжний колектор 440 може містити два набори отворів, до одного набору у якому всі трубки 120, що приходять від впускного колектора 106, можуть бути прикріплені за допомогою пайки, і до іншого набору у якому всі трубки 120, що приходять до випускного колектора 110, можуть бути прикріплені аналогічним чином. Проміжний колектор 440 може містити зовнішню трубку 442 таким чином, що з нею зв'язані трубки 120. Впускний колектор 440 може містити внутрішню трубку 444, що містить послідовність отворів 446 інжектора, розташованих у деякій послідовності на відстані одна від одної уздовж неї і призначених для введення гелію в проміжний колектор 440. Отже, трубки 120 униз за потоком від проміжного колектора 440 можуть мати більшу масову витрату гелію, ніж трубки 120 вверх по потоку. Це може бути надзвичайно корисно при проектуванні циклу з можливістю істотної зміни характеристик теплообміну, наприклад, для запобігання перевищуючих припустимі значення температур металу при польоті з високими значеннями числа Маха, і в тому, що тільки один теплообмінник 52 по суті забезпечує систему, яка може діяти як два різні теплообмінники з різними потоками охолоджувача, гелію або іншого охолоджувача, що тече в них. Це може бути схематично замічене на фіг. 16, де повітря, як видно, тече уздовж одного шляху 450, і впускний колектор 106 може концептуально бути припущений у впускній точці теплообмінника 52, проміжний колектор 440 у проміжній точці і вихідний колектор 110 у випускній точці. Регулювальний клапан 452 схематично показаний для керування потоком охолоджувача в проміжний колектор 440.

[0240] Як показано на фіг. 19А-19В, пластина 500 прокладки розташована в кожній кишень 160, розташованій в радіальному напрямку поза елементами 162 захоплення з рядів 242, 244. На фіг. 19А показана пластина 500 прокладки для зовнішніх кишень 160, причому внутрішні кишень із сьома елементами 162 захоплення мають аналогічні пластини 500 прокладки (хоча кількість поздовжніх щілин 512, 514, 516 може бути змінена, наприклад, зменшена). Кожна пластина прокладки містить першу бічну стінку 502, верхню стінку 504 і другу бічну стінку 506. Кожна бічна стінка 502, 506 містить нахилену вниз частину 508, з'єднану з верхньою стінкою 504, причому нахилена вниз частина 508 приєднана до нижньої по суті прохідної в радіальному напрямку частини 510 бічної стінки 502. Верхня стінка 504 визначає по суті весь шлях уздовж

трьох прохідних у поздовжньому напрямку щілин 512, 514, 516, причому щілини 512, 514, 516 перервані послідовністю малих поперечних з'єднувачів 518. Три щілини 512, 514, 516 орієнтовані уздовж відповідних радіальних шляхів із трьома найближчими до центру елементами 126 захоплення із другого ряду 244 елементів 126 захоплення. Отже, як показано

5 п'ятьма лініями 520 потоку повітря на фіг. 19D, щілини 512, 514, 516 у пластинах 500 прокладки мають тенденцію допомагати в напрямку потоку на елементи 126 захоплення в другому ряді 244. Пристрій може бути модифікований за допомогою видалення першого ряду 242 елементів 126 захоплення і, потенційно, за допомогою розміщення верхньої стінки 504 кожної пластини 500 прокладки ближче до "другого" ряду, що залишився, 244 із щілинами 512, 514, 516, все-таки

10 по суті орієнтованими з його елементами захоплення. У деяких варіантах реалізації даного винаходу пластини прокладки можуть містити одну щілину (або розріз) на елемент 126 захоплення в цьому ряді. Не обов'язково мати три щілини. Їх може бути, наприклад, п'ять.

[0241] Пластини 500 прокладки не обов'язкові. Вони локально збільшують швидкість потоку повітря, так що аеродинамічні сили домінують над силою ваги. Сила ваги може мати тенденцію змушувати краплі виконувати переміщення по діагоналі між елементами захоплення, не

15 вдаряючись об них і без можливості бути пійманими. Таким чином, пластини 500 прокладки допомагають в утворенні аеродинамічного навантаження на краплі води/антифризу, які мають тенденцію направляти їх на елементи 126, 244 захоплення. Інші конструкції, відмінні від пластин 500 прокладки, можуть бути використані в інших варіантах реалізації даного винаходу для

20 подібної мети.

[0242] Як показано на фіг. 20A і фіг. 9B, теплообмінник забезпечений переднім перебиранням 530 і відповідним заднім перебиранням 532, причому ці перебирання по суті являють собою дзеркальні відображення одне одного. Перебирання 530, 532 закріплені за допомогою пристроїв, що забезпечують можливість переміщення внаслідок теплового

25 розширення. Як показано на фіг. 20A, переднє перебирання 530 містить внутрішнє кільце 534, розміщене навколо і прикріплене до барабана 84 опори. Внутрішнє кільце 534 з'єднане за допомогою послідовності по суті прохідних у радіальному напрямку спиць 536 із зовнішнім кільцем 538 перебирання 530. Зовнішні кінці 540 спиць 536 приєднані до кільця 174 інжекції метанолу. Як показано на фіг. 20B, стопорна пружина 542 зовнішнього колектора прикріплена

30 пружинним способом до кільця 538 перебирання 530 і до стопорної шайби 544 трубки 110 колектора, прикріпленої до кожної пластини 270 керування вузлом елемента 270 захоплення. Пружина 542 додає невелике радіальне притискне навантаження до матриці трубок 120, забезпечуючи при цьому можливість теплових розширень.

[0243] У цьому варіанті реалізації даного винаходу спиці 536 виконані злегка спіральними за формою для забезпечення зазору, але в інших варіантах реалізації вони можуть бути повністю

35 радіальними або мати інші конфігурації.

[0244] На фіг. 18 показана модифікація теплообмінника, що забезпечує рециркуляцію метанолу, або іншого антифризу, використовуваного для запобігання блокування

40 теплообмінника внаслідок утворення інею або льоду. Потік повітря тече через теплообмінник кільцеподібно всередину, як і колись, що показано схематично в напрямку стрілок A, B потоку повітря, причому потік повітря охолоджують трубками 120 гелію (не показані на фіг. 18 для ясності) і роблять це способом, не показаним на фіг. 18 (з метою ясності). Метанол (або інший антифриз) подають із джерела/насоса 550 уздовж трубопроводу 552 до першої колекторної трубки 554 інжектора, розташованої у відносно холодному місці вниз за течією в потоці повітря

45 в теплообміннику 52. Метанол потім збирають, або значна його частина зібрана з водою в потоці повітря в першому розташованому вниз за течією пристрої 556 захоплення або видалення. Цей захоплений метанол, розведений з водою, потім рециркулює за допомогою насоса 558 уздовж трубопроводу 560 до розташованої вище за течією колекторної трубки 562 інжекції метанолу/води, і потім відбувається захоплення (щонайменше, частково) цієї суміші

50 разом з більшою кількістю води з потоку повітря в наступному пристрої 564 захоплення або видалення. Цей метанол (разом з водою) потім накачують наступним насосом 566 уздовж наступного трубопроводу 568 з додатково розведеним метанолом у розташований вище за течією колекторної трубки 570 інжектора метанолу/води 570, де його інжектують у потік повітря. Цей додатково розведений метанол (розведений водою) потім збирають або збирають по суті

55 весь у розташованому вище за течією пристрої 572 захоплення або видалення, звідки його направляють до виходу 574, який може бути спрямований у секцію згорання або вироблення тяги двигуна, для інжекції із двигуна для одержання додаткової тяги. Ця рециркуляція метанолу, при якій відбувається її повторна інжекція кожний раз у певному місці вверх по потоку (і в такий спосіб вона може концептуально бути розглянута як протипотік щодо повітряного потоку навіть

60 при тому, що, як показано схематичними стрілками 577, метанол тече разом з повітрям при

знаходженні його в потоці повітря), забезпечує можливість оптимізації до мінімуму споживання метанолу або іншого антифризу.

[0245] Передбачено, що в деяких варіантах реалізації даного винаходу метанол і вода можуть бути відведені від випуску 574 до сепаратора метанолу, наприклад, до системи дистиляції для повторної концентрації метанолу з метою повторного використання, для зменшення повного споживання метанолу і ваги перевезеного метанолу.

[0246] Замість пристосу, показаного на фіг. 18, існує можливість мати дві або більшу кількість секцій захоплення (схожих на пристрій 572 захоплення), розташованих послідовно (одна за іншою уздовж проточного каналу для повітря) після кожної колекторної трубки інжекції (як 562) і перед наступною колекторною трубкою інжекції.

[0247] Як показано на фіг. 21A, теплообмінник 52 (або пристрій попереднього охолодження) може бути зібраний в іспитовому обладнанні 580 разом з переднім пасивним імітатором 582 теплообмінника і заднім пасивним імітатором 584 теплообмінника. Імітатори 582, 584 мають характеристики потоку повітря, аналогічні до характеристик теплообмінника 52. Імітатори 582, 584 потоку повітря і теплообмінник 52 розміщені кільцеподібно навколо випускного патрубку 586 із центральною лінією або віссю 588. На практиці для готового до польоту пристрою із трьох (або з іншої кількості) теплообмінників 52, розміщених послідовно один за одним в аналогічній конфігурації, передні і задні пасивні імітатори 582, 584 потоку повітря можуть бути замінені додатковими теплообмінниками 52, які можуть бути по суті ідентичними середньому теплообміннику 52. Ці три теплообмінники 52 здатні, таким чином, приймати потоки 590 набіжного повітря 590 з патрубку 592, ведучого від випускного отвору 43, а вихідний патрубок 586 здатний приводити до повітряного компресора 54 турбокомпресора 46, показаного на фіг. 3.

[0248] Кожний з імітаторів 582, 584 потоку повітря і теплообмінника 52 обмежений у радіальному внутрішньому напрямку послідовністю 594, 596, 598 напрямних лопаток, що накладаються 600, причому кожна напрямна лопатка являє собою круговий або подібний до кільця елемент, коаксіальний із центральною віссю 588. Кожна напрямна лопатка має поздовжню довжину уздовж осі 588, а в поперечному перерізі, показаному на фіг. 21B, має скривлену зазвичай закруглену по радіусу провідну частину 602, витягнуту приблизно на 20 % від поздовжньої довжини напрямної лопатки, і хвостову частину 604, витягнуту на ту, що залишилася, приблизно 80 % від поздовжньої довжини напрямної лопатки 600, яка виконана по суті конічною, хоча фіг. 21B показує, що частина передньої крайки 604, яка повинна являти собою кілька згладжених частин, фактично в переважному варіанті реалізації являє собою гладку криву. Внаслідок конфігурації лопаток, у якій вони скривлені і виконані із внутрішнім вкладенням, і в якій область 606 випуску між сусідніми напрямними лопатками 600 значно менше області впуску 608 між або близько їхніх передніх крайок 610 (беручи до уваги як меншу довжину щілини в поперечному напрямку для протікання, як показано в поперечному розрізі, так і більшу довжину окружності в області 606 випуску), відбувається поворот і прискорення потоку за допомогою напрямної лопатки 600. Кожна напрямна лопатка 600 має по суті однакову ширину уздовж усієї довжини від її передньої крайки 610 до її задньої крайки 612, але це може бути змінено в інших варіантах реалізації даного винаходу. Передня крайка 610 (або частина 614 передньої крайки) кожної напрямної лопатки 600 повернена приблизно на 10 градусів до радіального напрямку, тобто на кут A на фіг. 21B. Задня крайка 612 (або частина 616 задньої крайки) напрямної лопатки 600 повернена приблизно на 10 градусів до поздовжньої осі 588 трубки 586, тобто на кут B на фіг. 21B.

[0249] Напрямні лопатки 600 призначені для локального повороту і прискорення потоку повітря аж до швидкості повітря, що зазвичай має місце у випускному патрубку 586, так що розподіл швидкостей вище за течією, тобто, вище за течією від переднього і заднього пасивних імітаторів 582, 584 потоку повітря і від теплообмінника 52, змушують стати більш однорідним, так що однаковий або по суті однаковий масовий потік повітря буде проходити через кожний ..., навіть при тому, що вони розміщені на різних відстанях уздовж патрубку 586.

[0250] Хоча спочатку було припущено, що центральне тіло, вставлене у випускний патрубок 586, усуне проблему розподілу статичного тиску уздовж випускного патрубку, зменшуючи його в напрямку до двигуна, таке центральне тіло несподіване, при перевірці даними заявниками, не виявило бажаний ефект і змусило ще більшу частину потоку проходити через хвостову частину обладнання, причому причина цього (визначена даними заявниками) полягає у тому, що повітря, що входить у вихідну трубку, входить у радіальному напрямку, але згодом впливає по криволінійному шляху для повороту на 90 градусів при виході з випускного патрубку, і щораз, коли текуче середовище впливає по цьому криволінійному шляху, має місце градієнт тиску, перпендикулярний потоку, причому було виявлено, що потік, що входить у вихідний патрубок у напрямку до хвостової частини обладнання (ближче до виходу 589 з патрубку), впливає по

шляху з меншим радіусом кривизни, ніж повітря, що входить у патрубок від місця, розташованого ближче до його переднього фронту 591, з меншим радіусом кривизни і високою швидкістю до хвостової частини, викликаючи появу більших градієнтів тиску і приводячи до області підвищеного тиску під переднім пасивним імітатором 582 потоку повітря в порівнянні із заднім пасивним імітатором 584 потоку повітря, у такий спосіб викликаючи більш високі швидкості при проходженні через задній пасивний імітатор 584 потоку повітря, ніж при проходженні через передній пасивний імітатор 582 потоку повітря.

[0251] Напрямні лопатки 600 послабляють цю проблему локально в місці впуску в подібні до барабана імітатори 582, 584 потоку повітря і теплообмінник 52. Хоча між сусідніми лопатками 600 все-таки буде присутній градієнт тиску в осьовому напрямку, тепер він обмежений областю між границями пар лопаток. Отже, за допомогою розбивки потоку на достатню кількість сегментів повороту, підвищений градієнт тиску на випускному патрубку може бути усунутий або щонайменше зменшений. Мають місце не тільки більш однорідні масові потоки, що проходять через три барабани 582, 584, 52, але лінії струму через теплообмінник 52 стають майже радіальними (зменшення при відсутності лопаток тенденції проходження більшого потоку через теплообмінник 52 в одному осьовому положенні, ніж в іншому), допомагаючи, тим самим, гарантувати більш однорідне поле потоку через теплообмінник 52 для цілей теплообміну.

[0252] Було виявлено, що при встановлених напрямних лопатках 600 відношення тисків, тобто, відношення тиску в патрубку 586 в області переднього імітатора 582 потоку повітря до тиску в області заднього імітатора 584 було поліпшене від значення 72 % без напрямних лопаток 600 до 89 % при наявності напрямних лопаток, встановлених так, як показано на фіг. 21A.

[0253] Таким чином, показано, що лопатки 600 пропонують технічне рішення для перерозподілу масової витрати через вузол теплообмінника прохідний у поздовжньому напрямку, що і приводить до патрубка з осьовим потоком і/або пристроям з численною кількістю модулів теплообмінника, типу модуля 52, разом з аналогічними модулями, що замінюють пасивні імітатори 582, 584 потоку повітря. Лопатки 600 забезпечують більш однорідні розподіли радіальної швидкості через теплообмінник 52.

[0254] Випускні кути лопати (B) можуть бути різними уздовж осьової довжини обладнання для додаткового збільшення однорідності потоку, причому передбачено, що також може бути додане центральне тіло 603, так що комбінований вплив повороту лопатки і геометрії центрального тіла може бути використано для забезпечення у високому ступені однорідного розподілу потоку з мінімальною втратою повного тиску. При виконанні випускного патрубка 586 по суті циліндричним центральне тіло 603 може бути, як схематично показано, параболічним у поперечному перерізі для забезпечення по суті лінійної області збільшення на одиницю довжини (внаслідок тривимірної кільцевої форми), що забезпечує можливість збереження по суті постійного масового потоку.

[0255] Як показано на фіг. 21A, кожний теплообмінник 52 може також бути забезпечений, так само як і внутрішніми напрямними лопатками 600, послідовністю зовнішніх напрямних лопаток 601, що повністю проходять уздовж його осьової довжини, або по суті так. З метою ясності тільки три такі зовнішні лопатки 601 показані на фіг. 21A. У переважному варіанті реалізації кожна зовнішня лопатка 601 виконана із щілиною, як показано на фіг. 21A, оскільки відбувається збільшення тиску і зменшення швидкості потоку при проходженні потоку через лопатки 601 і наявність щілин запобігає зриву потоку. Щілини не потрібні на внутрішніх лопатках 606, оскільки при проходженні їх відбувається зменшення тиску і прискорення потоку. При потоці, реверсійному у зовнішньому радіальному напрямку в інших варіантах реалізації даного винаходу, внутрішні лопатки можуть бути виконані із щілинами. У деяких варіантах реалізації даного винаходу або внутрішні 600 або зовнішні 601 лопатки можуть бути опущені.

[0256] Як показано, наприклад, на фіг. 13B, пластини 270 пристрою захоплення містять шпильки 700, що проходять у кишеньні захоплення в матриці трубок 120, що забезпечує їм можливість йти за кишнями захоплення при переміщенні матриці внаслідок зміни термічних значень і значень тиску. Фахівцям у даній області техніки очевидно, що має місце перекриття пластин 270 захоплення для запобігання осьового витоку повітря між ними; причому слід зазначити, що пластини захоплення зазвичай не опираються один на одного в радіальному напрямку або на передні і задні перебирання.

[0257] Хоча варіант реалізації винаходу, показаний на більшості креслень, містить тільки одну точку інжекції антифризу/метанолу в радіальному напрямку поза матрицею трубок 120, передбачено, що готовий до польоту двигун може містити щонайменше дві інжекційні точки в різних радіальних місцях розташування або в більшій кількості радіальних місць розташування, як показано на фіг. 18.

[0258] Перехідні трубки 702, показані на фіг. 9В, можуть бути придатними для використання в іспитових установках і можуть бути вилучені в працюючих двигунах.

[0259] Довжина кишень у вигляді ввігнутої тарілки в елементах 126 захоплення складає приблизно 50 мм. Сітка 258 щільно обгорнена навколо трубок захоплення і прикріплена до них.
5 Це утворює кишень довжиною 50 мм, де кожна трубка 126 захоплення виконана ввігнутою, розділена піками 254, де сітка 258 контактує із трубкою, щоб розділити порожнини усмоктування на окремі кишень, так що у випадку ушкодження кишень, що залишилися, продовжують працювати.

[0260] Компоненти керування температурою, включаючи датчик 350 температури і контролер 352, можуть бути пристосовані або замінені в інших варіантах реалізації даного винаходу іншим пристроєм, відомим фахівцям у даній області техніки, для підтримки постійного повітряного профілю температури для керування наростанням інею за допомогою забезпечення правильної кількості конденсату метанол/вода в певних місцях захоплення. У щонайменше деяких варіантах реалізації даного винаходу керування пристосовано для керування останнім (самим холодним) рядом елементів захоплення, призначеним для знаходження при температурі повітря, що приблизно складає від -80 до -100 градусів за Цельсієм, де концентрація метанолу повинна бути приблизно рівна 80 %-ій молярній частці або 88 %-ій масовій частці для втримання точки замерзання при самій низькій з можливих температур.

[0261] Система контролю над утворенням інею вимагає дуже невеликої кількості споживаних матеріалів у порівнянні зі згаданими вище попередніми публікаціями, тобто маса необхідного метанолу дуже мала, що приводить до збільшеного корисного навантаження літального апарата і поліпшеної рентабельності.

[0262] У переважному варіанті реалізації сполучення колекторної трубки 174 метанолу зі спицями 536 відбувається через прорізані отвори (не показані) для забезпечення можливості радіального теплового розширення.

[0263] Показане на кресленнях кільце 174 інжектора метанолу містить активні трубки 710 інжекції з додатковими гладкими трубками 712 більшого діаметра для інжекції не текучого середовища. Цей пристрій забезпечує збільшену швидкість повітря поблизу трубок 710 інжекції, але гладкі трубки 712 можуть бути вилучені в інших варіантах реалізації даного винаходу.

[0264] Невелике натискання випускних колекторів 110 на матрицю трубок 120 за допомогою пружин 542 додає початкове попереднє навантаження, яке збільшене перепадом тиску з боку повітря при роботі двигуна, і це також запобігає модулю спіралей 108 від розорювання при напрямку осі теплообмінника 52 у горизонтальному напрямку. В інших варіантах реалізації даного винаходу пристрій 350, 352, 354 керування перепуском гелію можуть бути замінені і електрична схема може бути змінена для включення контуру рециркуляції і для реалізації альтернативних конструкцій для керування температурою пристрою захоплення.

[0265] Теплообмінник може бути використаний в інших додатках, відмінних від показаного двигуна, і не обмежений використанням в описаному певному аерокосмічному застосуванні і може бути використаний у різних інших аерокосмічних і промислових застосуваннях.

[0266] Різні показані на кресленнях особливості можуть бути змінені в порівнянні з показаними і описаними без виходу за межі об'єму винаходу. Наприклад, в інших варіантах реалізації даного винаходу торцеві стінки, утворені пластинами 127 елемента захоплення, і перебирання 530, 532 можуть бути виконані з тонкого листового матеріалу.

[0267] У варіантах реалізації з потоком повітря, що йдуть по суті в радіальному зовнішньому напрямку (усередині радіального напрямку усередину), опорна конструкція трубки, що містить барабан 84 у вигляді пташиної клітки і І-подібні стрижні 130, може бути реверсована таким чином, що барабан 84 розміщений у радіальному напрямку поза спіральними трубками 120 для протидії навантаженню, прикладеного до нього назовні.

[0268] У ситуаціях, де охолоджуване текуче середовище (наприклад, повітря) не містить водяну пару, або якщо текуче середовище не буде охолоджено нижче 0 градусів, існує відносно мала ймовірність, що наростання інею буде перешкоджати роботі теплообмінника. У таких ситуаціях може бути вигідно усунути пристрій контролю над утворенням інею (наприклад, систему інжекції метанолу, вузли 240 елементів захоплення, прокладки 500, різкі вигини 112', 114', І-подібні стрижні 130 в області спіральних секцій 108, дугоподібні кишень 160, радіальні частини 122 і плівки/виступи 124) з теплообмінника для, наприклад, зменшення ваги при використанні теплообмінника із двигуном (наприклад, двигуном, розкритим у патенті GB 1318111.0).

[0269] Різні модифікації можуть бути зроблені відносно описаних варіантів реалізації даного винаходу без виходу за межі об'єму винаходу, визначеного супровідними пунктами формули винаходу.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Теплообмінник, який містить:
щонайменше одну секцію першого трубопроводу для протікання першого текучого середовища з теплообміном із другим текучим середовищем у проточному каналі, що проходить через
10 зазначену щонайменше одну секцію першого трубопроводу; й
опору для зазначеної щонайменше однієї секції першого трубопроводу, причому
зазначена щонайменше одна секція першого трубопроводу прикріплена у першому місці до
опори, і
15 зазначена щонайменше одна секція першого трубопроводу в другому місці на ній виконана
рухомою вздовж своєї довжини по суті круговим способом відносно опори у відповідь на зміну
температурних умов.
2. Теплообмінник за п. 1, у якому
зазначена щонайменше одна секція першого трубопроводу містить численну кількість трубок
для теплообміну.
- 20 3. Теплообмінник за п. 2, у якому
трубки приєднані на першому своєму кінці до впускного колектора та на другому своєму кінці до
випускного колектора зазначеної щонайменше однієї секції першого трубопроводу.
4. Теплообмінник за п. 3, у якому
перше місце розташоване на одному колекторі з впускного та випускного колекторів, який
25 жорстко прикріплений до опори, а
інший колектор з впускного та випускного колекторів виконаний з можливістю переміщення
відносно опори у відповідь на зміну температурних умов.
5. Теплообмінник за п. 4, у якому
інший з колекторів прикріплений до його рухомої опори, яка рухома відносно зазначеної опори.
- 30 6. Теплообмінник за будь-яким із пп. 2-5, у якому
зазначена щонайменше одна секція першого трубопроводу містить спіральну секцію, що має
численну кількість трубок, що проходять за спіраллю вздовж рядів і розміщені в рядах на
відстані одна від одної.
7. Теплообмінник за п. 6, у якому
35 трубки в зазначеній щонайменше одній секції першого трубопроводу розташовані в 1-40 рядів
на відстані одна від одної в радіальному напрямку, наприклад, в 4 таких рядах.
8. Теплообмінник за п. 5 або п. 6, у якому
трубки розташовані у приблизно в 10-1000 рядах на відстані одна від одної в осьовому
напрямку, наприклад, приблизно в 70-100 таких рядах.
- 40 9. Теплообмінник за будь-яким із пп. 2-8, у якому довжина трубок становить приблизно від 1 до
3 метрів, і вони проходять від першого колектора до другого колектора.
10. Теплообмінник за будь-яким із пп. 2-9, у якому трубки мають діаметр, що становить
приблизно 1 мм.
11. Теплообмінник за будь-яким із пп. 2-10, у якому товщина стінок трубок становить приблизно
45 від 20 до 40 мікрон.
12. Теплообмінник за п. 6 або за будь-яким попереднім пунктом, що залежить від п. 6, який
містить численну кількість зазначених спіральних секцій, вставлених одна в одну й орієнтованих
з кутовою відстанню відносно одна одної.
13. Теплообмінник за п. 12, у якому
50 зазначені спіральні секції виконані у формі по суті циліндричного барабана.
14. Теплообмінник за п. 12 або п. 13, у якому
опора містить щонайменше один круговий обід, до якого прикріплена зазначена щонайменше
одна секція першого трубопроводу.
15. Теплообмінник за п. 14, у якому
55 опора містить численну кількість зазначених кругових ободів, виконаних на відстані один від
одного у вигляді по суті циліндричної перфорованої барабанної конструкції, і
в якому колектор зазначеної щонайменше однієї секції першого трубопроводу прикріплений до
численної кількості зазначених кругових ободів;
який переважно містить

опорну конструкцію, що проходить кільцевим способом і щонайменше частково у радіальному напрямку між зазначеним колектором і наступним колектором відповідного щонайменше одного першого трубопроводу, причому

наступний колектор підтриманий напрямним елементом, розташованим з можливістю кругового переміщення відносно перфорованої барабанної конструкції у відповідь на зміну температурних умов.

16. Теплообмінник за п. 3 або за будь-яким попереднім пунктом, що залежить від п. 3, у якому щонайменше один колектор із зазначеного впускного колектора та зазначеного випускного колектора виконаний по суті твердим і з'єднаний за текучим середовищем із гнучким трубопроводом.

17. Теплообмінник за п. 16, у якому гнучкий трубопровід з'єднаний за текучим середовищем із по суті жорсткою колекторною трубкою.

18. Теплообмінник за п. 17, у якому по суті жорстка колекторна трубка прикріплена в осьовому напрямку в певному положенні відносно опори, але має можливість вільного переміщення, наприклад, росту, у радіальному напрямку.

19. Теплообмінник за п. 6 або за будь-яким попереднім пунктом, що залежить від п. 6, у якому ряди трубок щонайменше в одній секції першого трубопроводу містять численну кількість рядів, розміщених на відстані один від одного за допомогою роздільників, розташованих для протидії аеродинамічному навантаженню, прикладеному до трубок.

20. Теплообмінник за п. 6 або за будь-яким попереднім пунктом, що залежить від п. 6, який додатково містить елемент навантаження, такий як прокладка, між трубками двох сусідніх зазначених секцій першого трубопроводу для передачі навантаження між ними, при забезпеченні можливості відносного ковзання між ними у відповідь на зміну температурних умов.

21. Теплообмінник за п. 20, що залежить від п. 19, у якому елемент навантаження по суті вирівняний за допомогою роздільників з утворенням прохідної по суті радіальної конструкції шляху навантаження для реагування на аеродинамічне навантаження, прикладене до трубок, при забезпеченні можливості відносного переміщення між сусідніми зазначеними секціями першого трубопроводу у відповідь на зміну температурних умов.

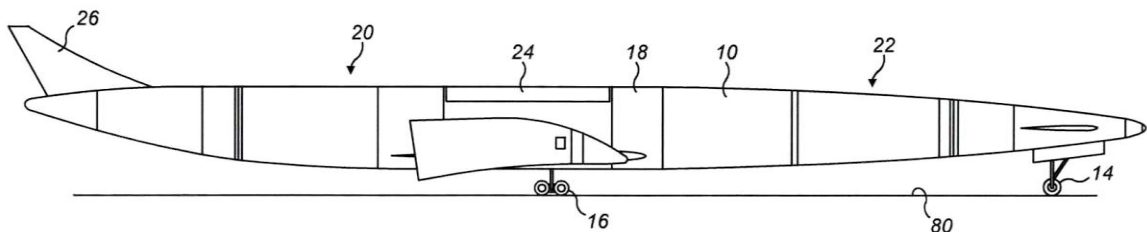
22. Теплообмінник за п. 21, який додатково містить численну кількість зазначених елементів навантаження, виконаних у послідовностях, у яких вони розміщені на відстані одна від одної по суті по колу.

23. Двигун літального апарата або транспортного засобу, який містить секцію згоряння та теплообмінник за будь-яким попереднім пунктом, причому теплообмінник пристосований для охолодження повітря як другого текучого середовища у проточному каналі, спрямованому до секції згоряння.

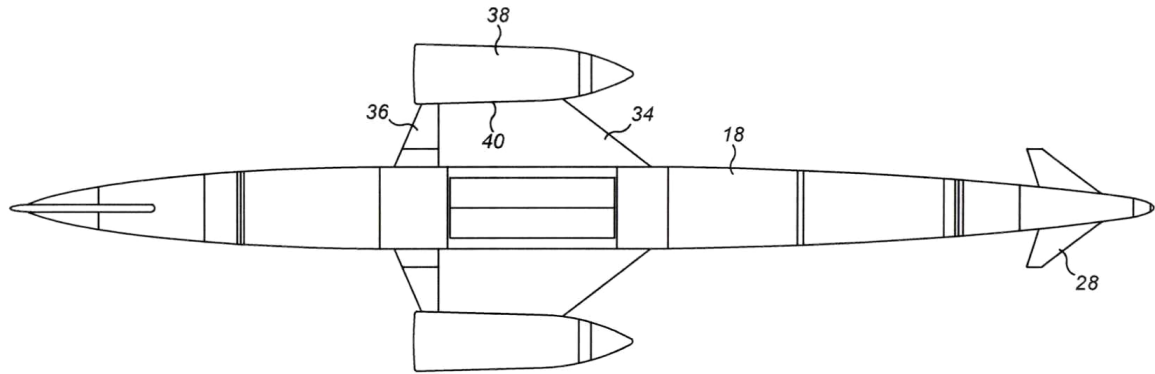
24. Двигун літального апарата за п. 23, який додатково містить пристрій подання гелію для подачі гелію як першого текучого середовища.

25. Літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, який містить теплообмінник за будь-яким із пп. 1-22.

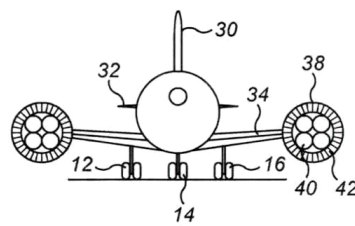
26. Літальний апарат, такий як повітряний літальний апарат або орбітальна ракета-носій, який містить двигун літального апарата за п. 23 або п. 24.



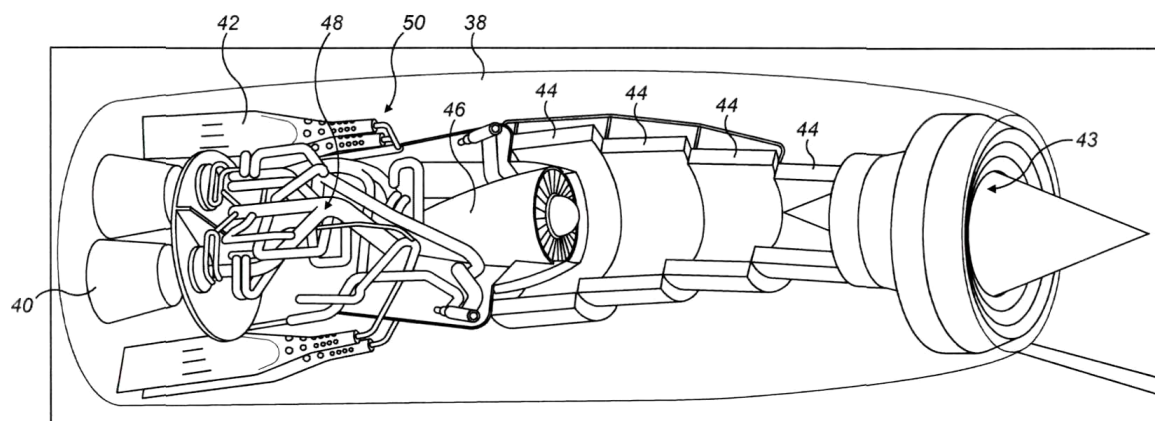
ФІГ. 1А



ФІГ. 1В

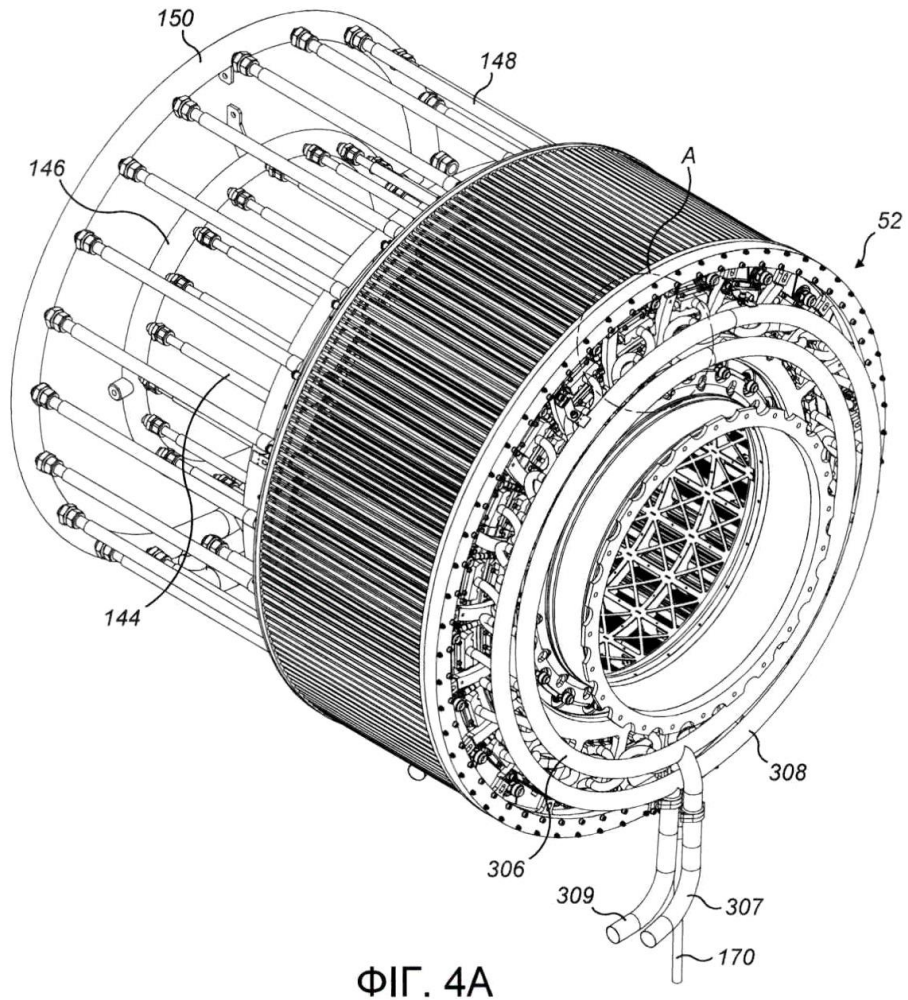
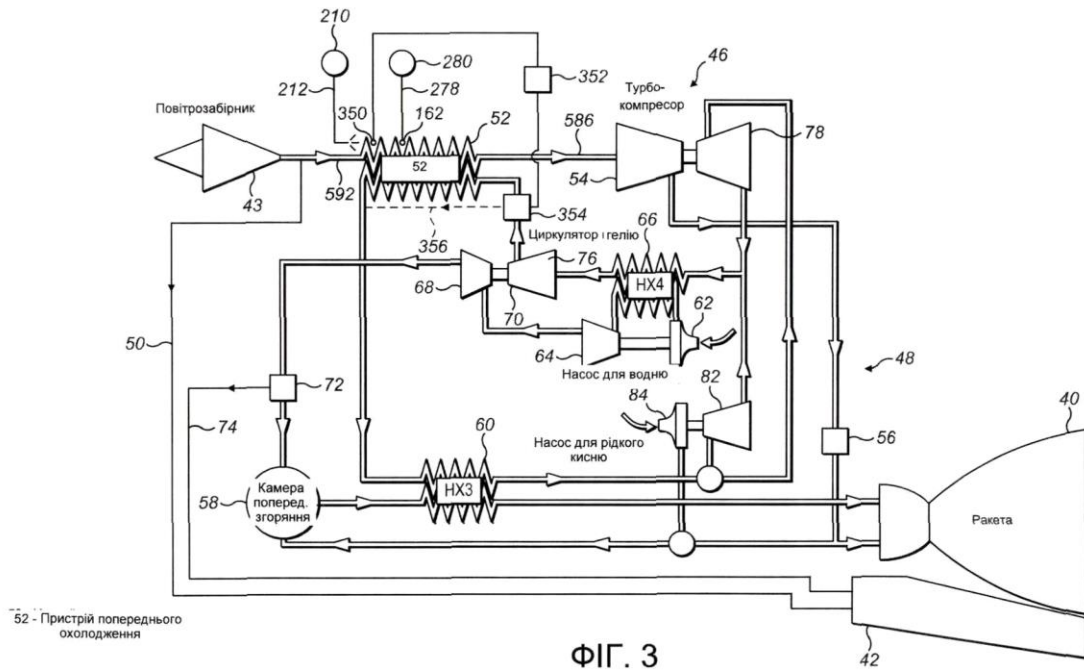


ФІГ. 1С



ФІГ. 2

ПОПЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ
ТЕХНІКИ



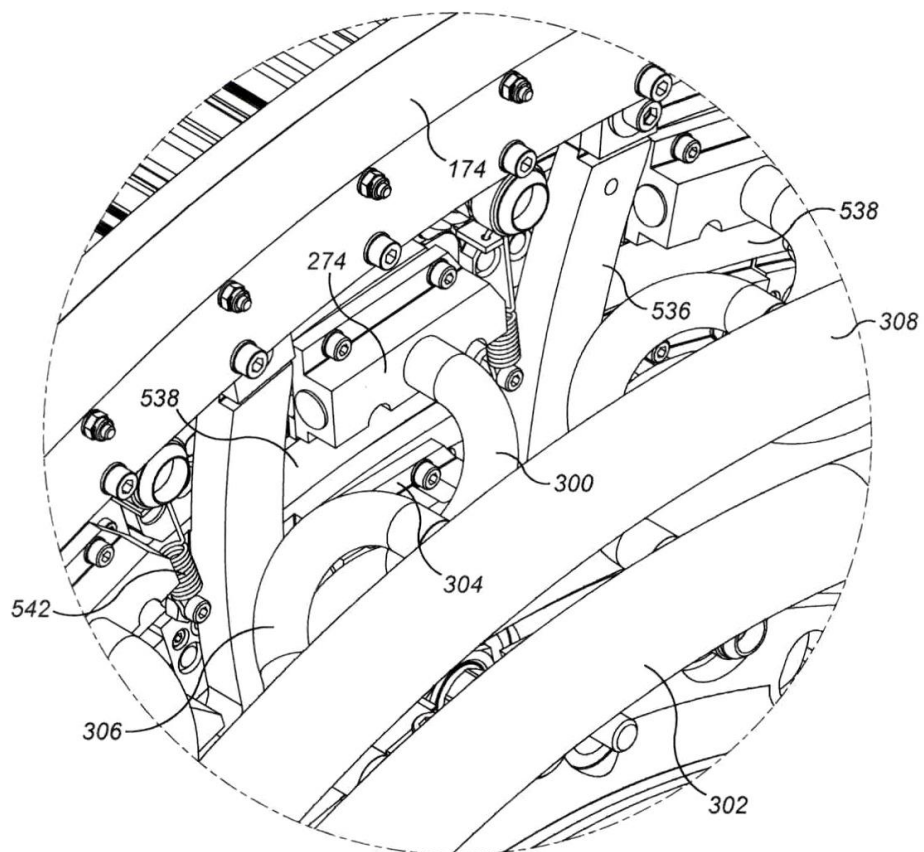
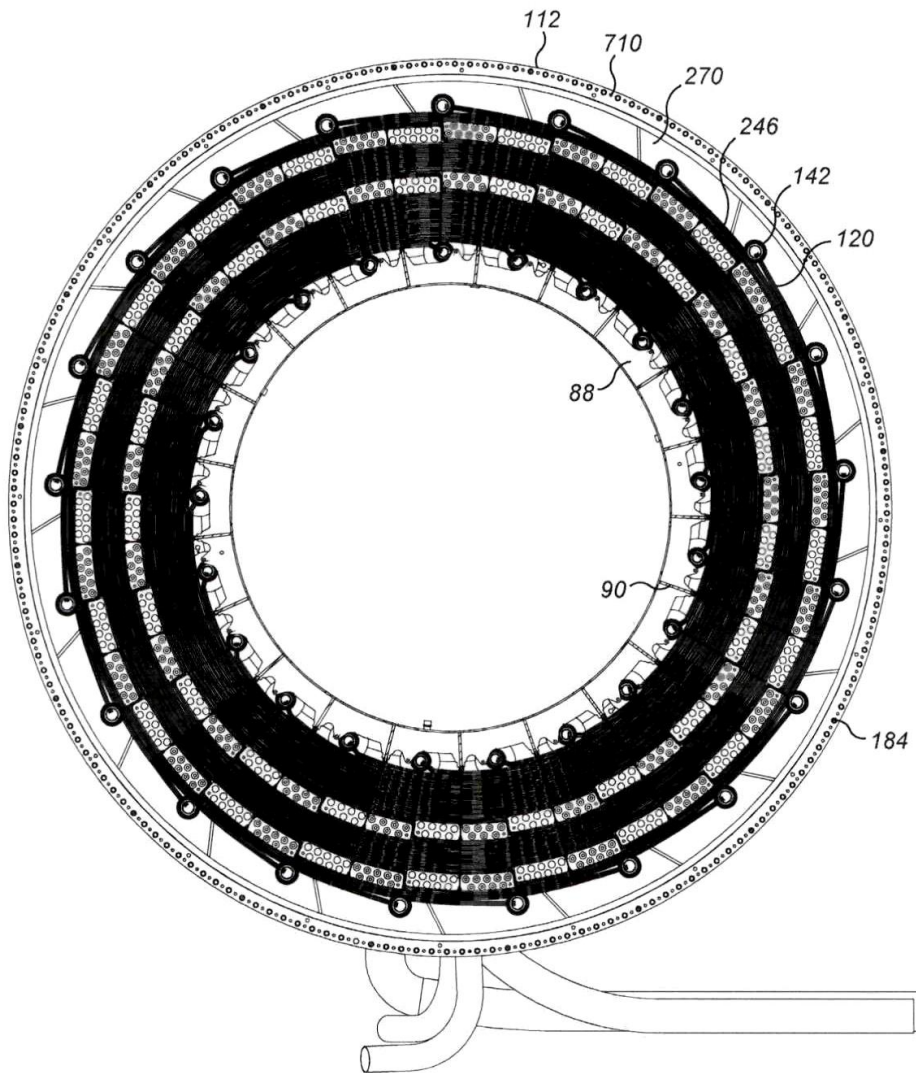
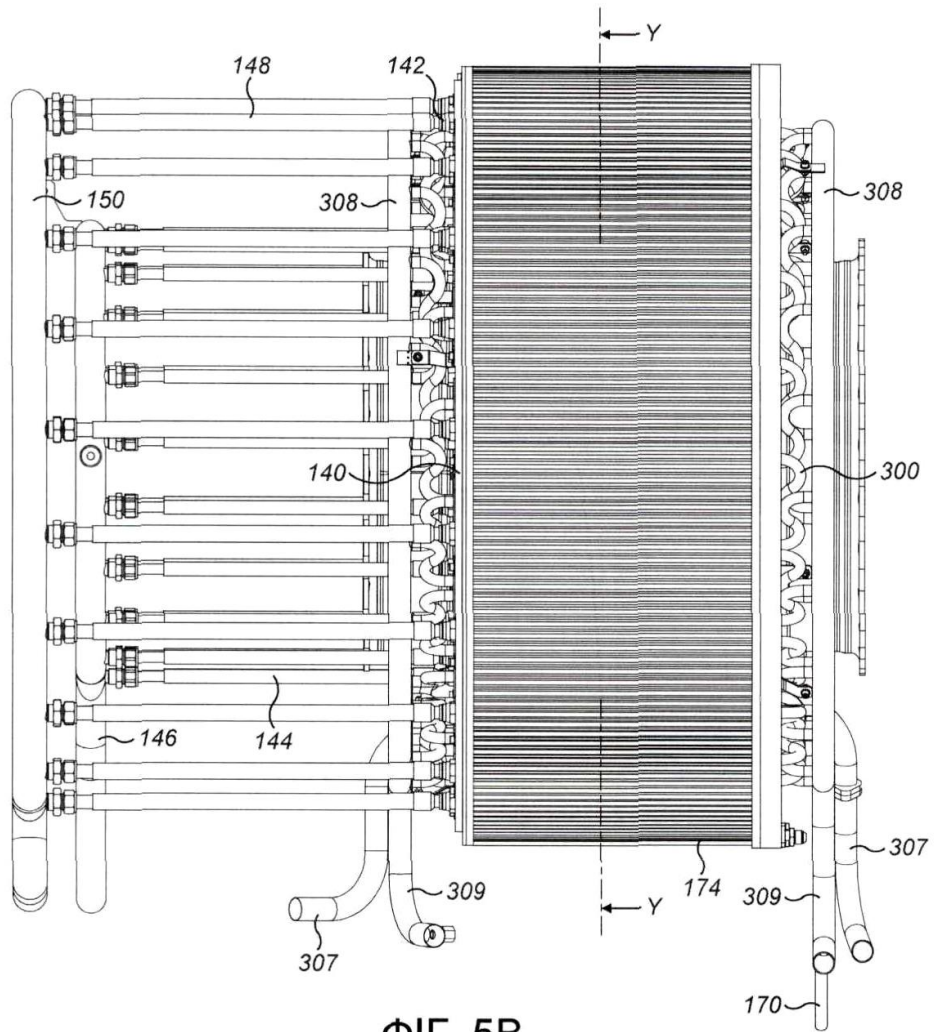


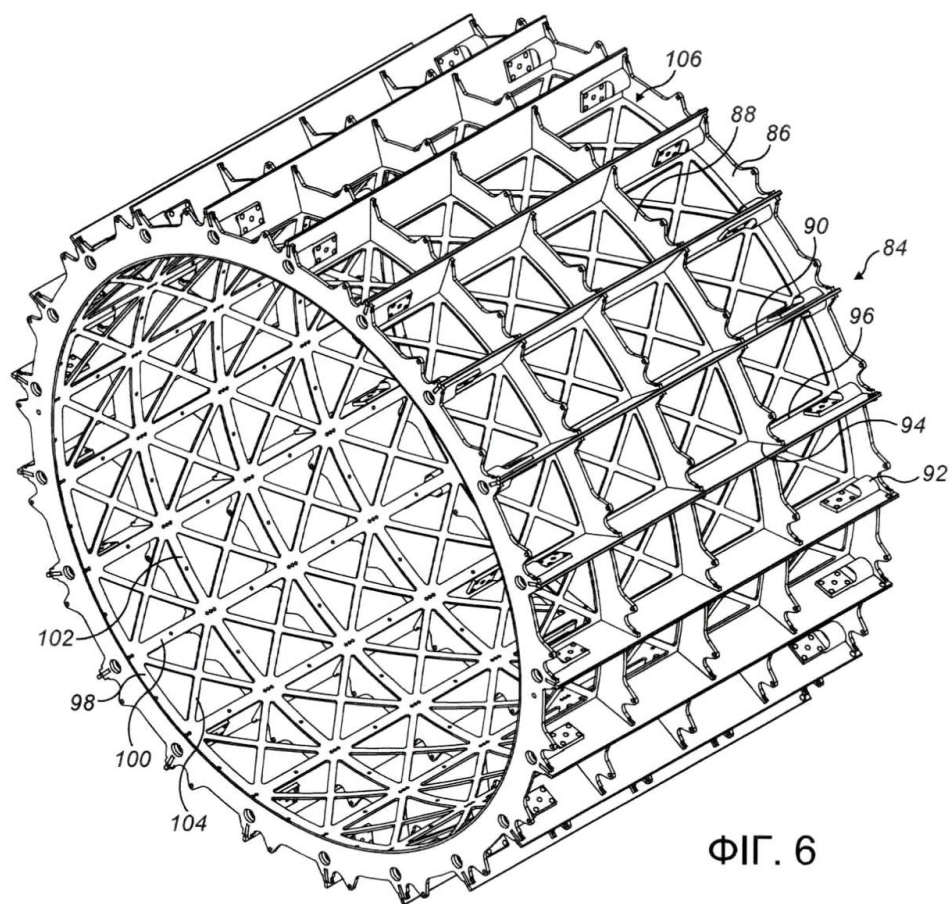
FIG. 4B

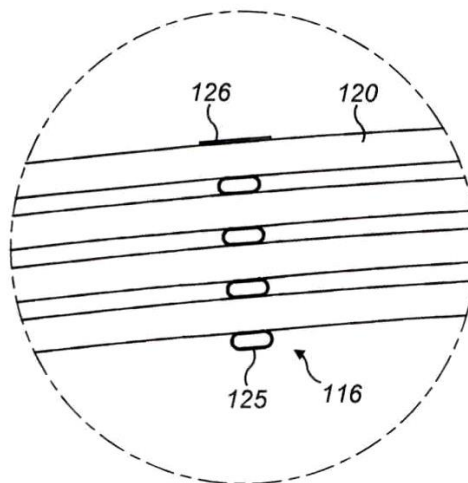


ΦΙΓ. 5Α

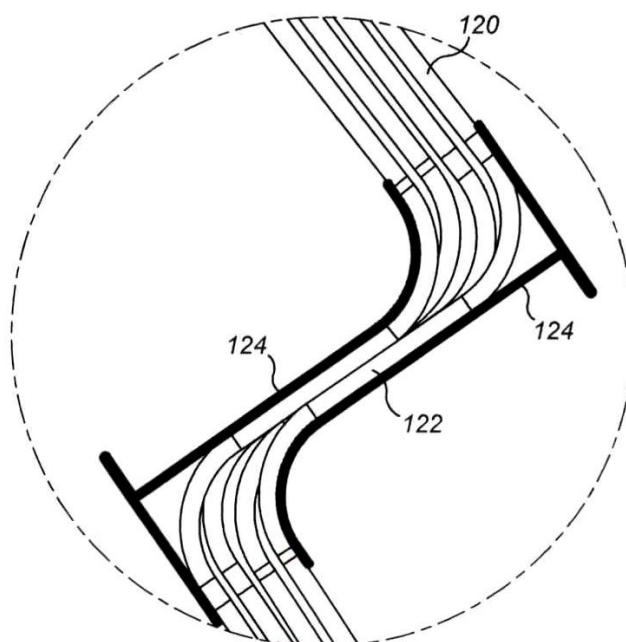


ФІГ. 5В





ΦΙΓ. 7Α



ΦΙΓ. 7Β

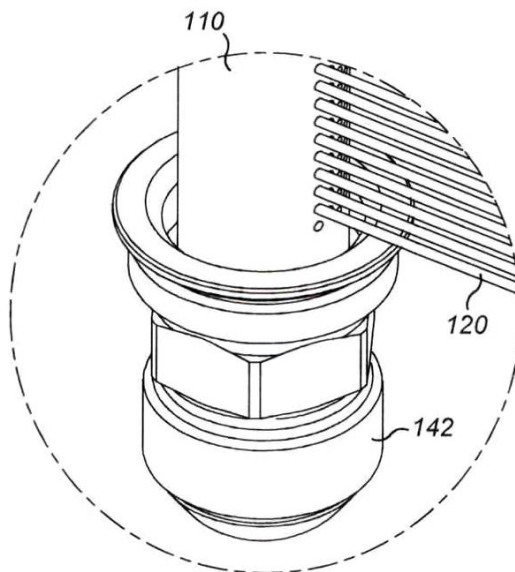


FIG. 7C

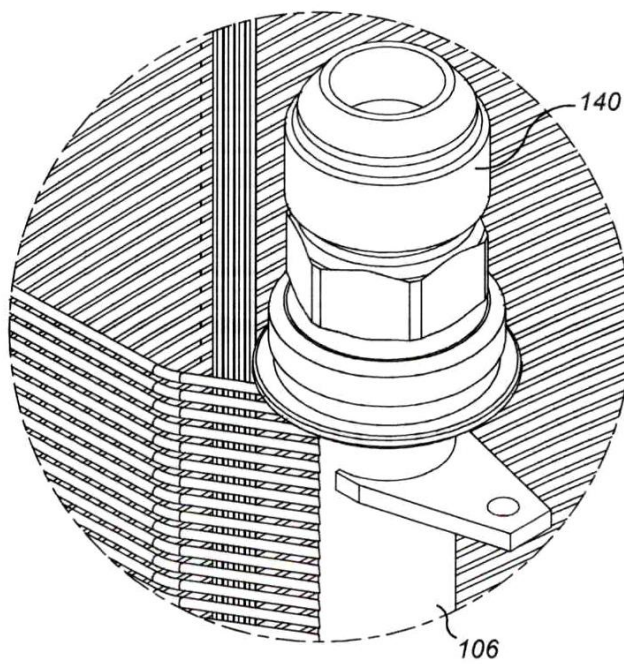


FIG. 7D

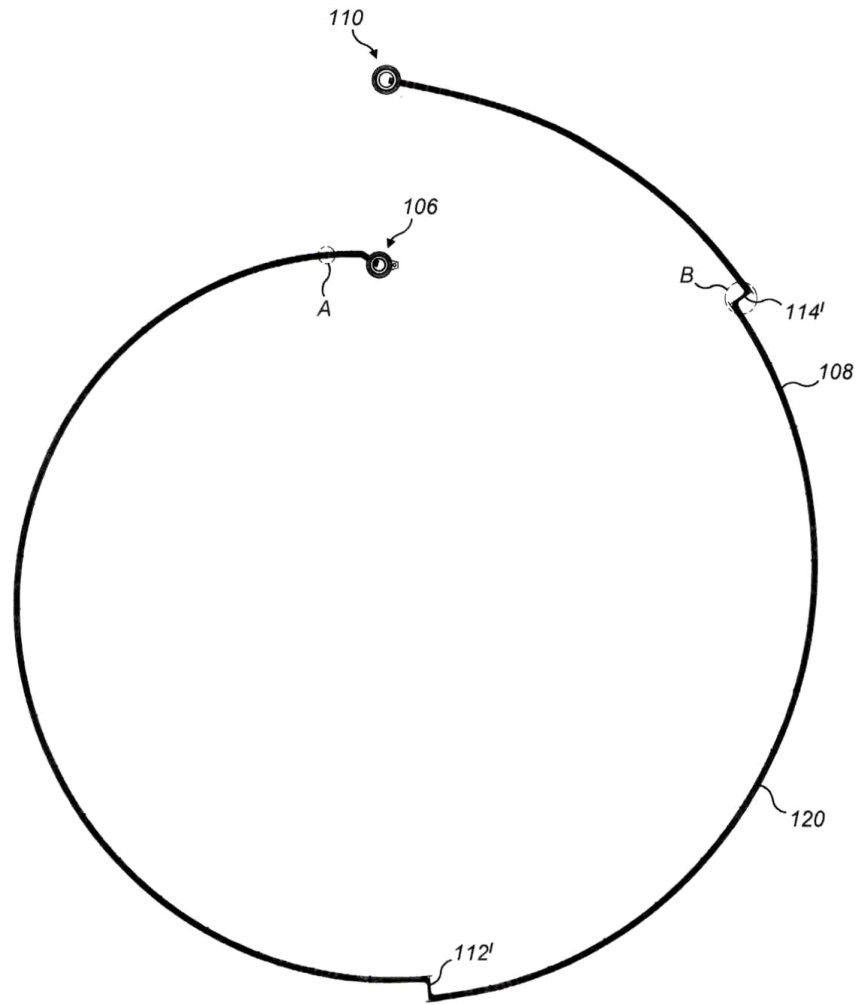
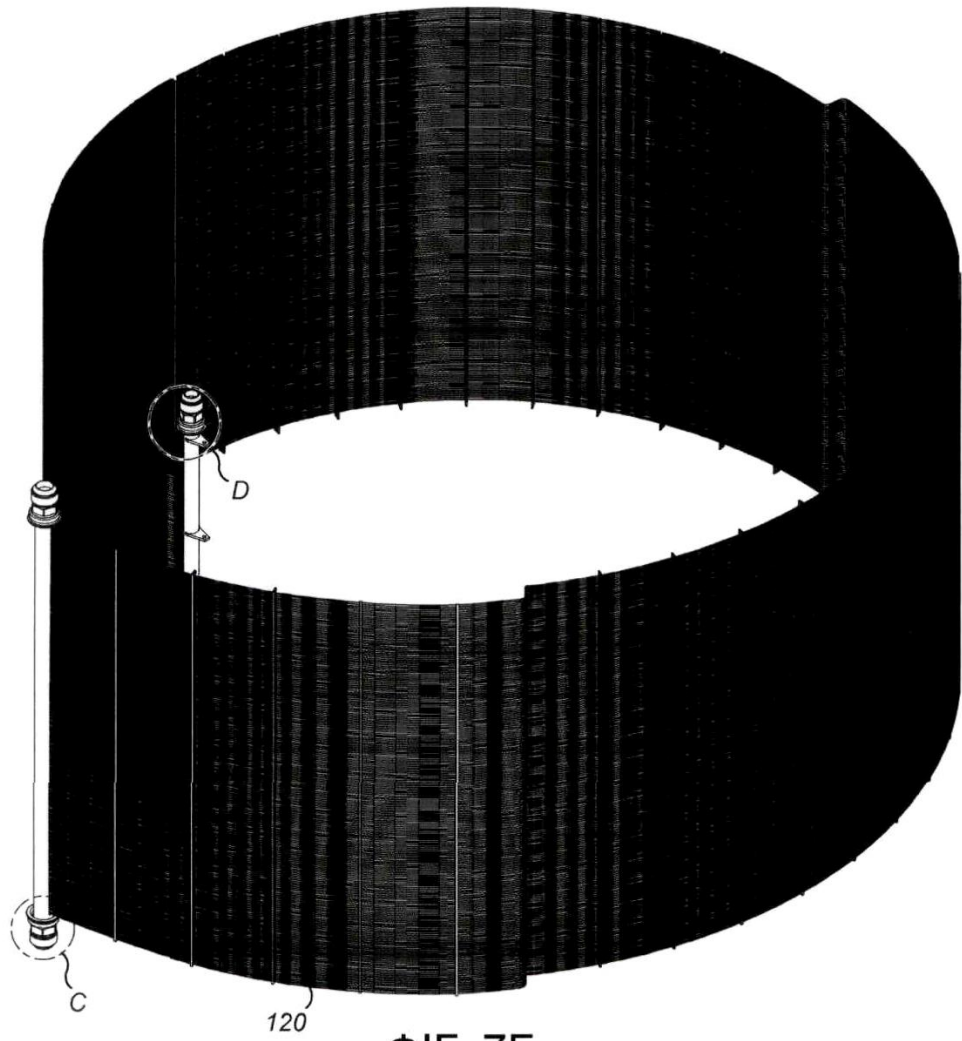
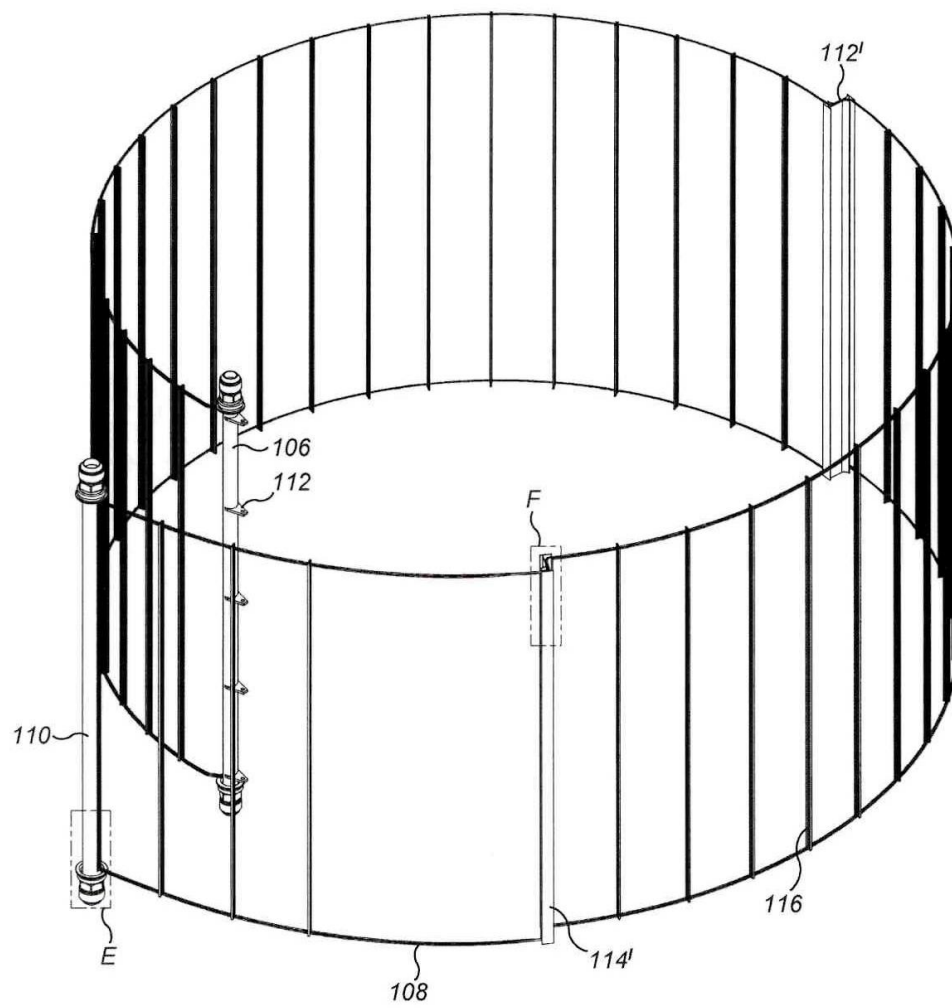


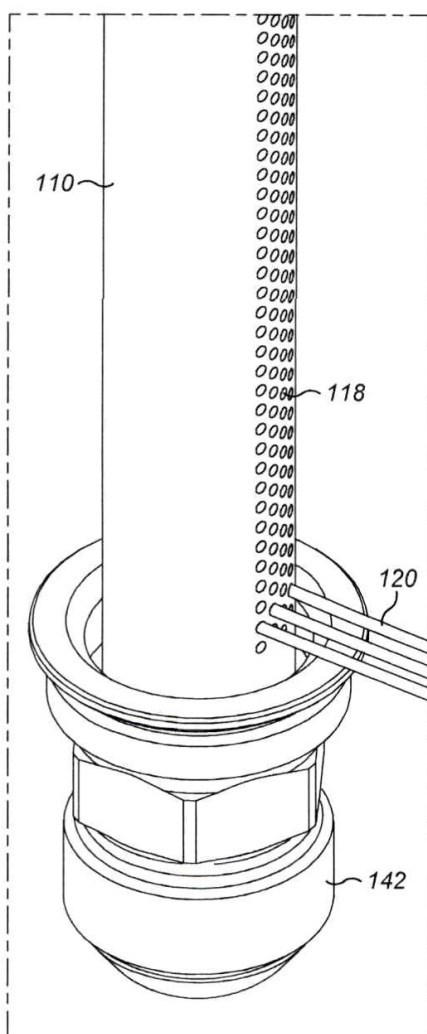
FIG. 7E



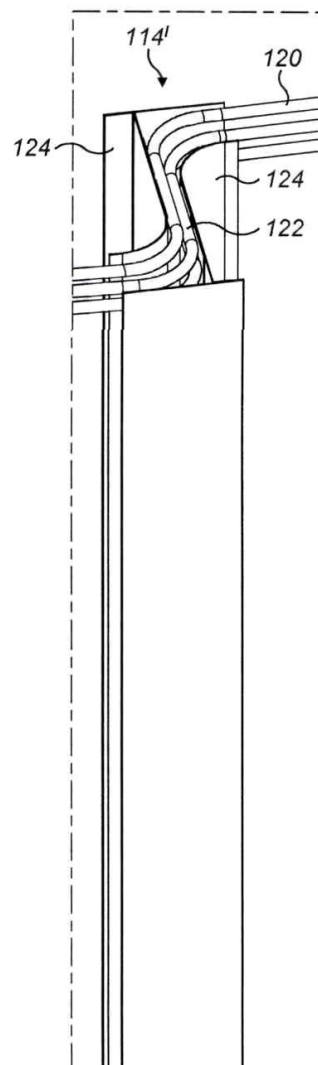
ΦΙΓ. 7F



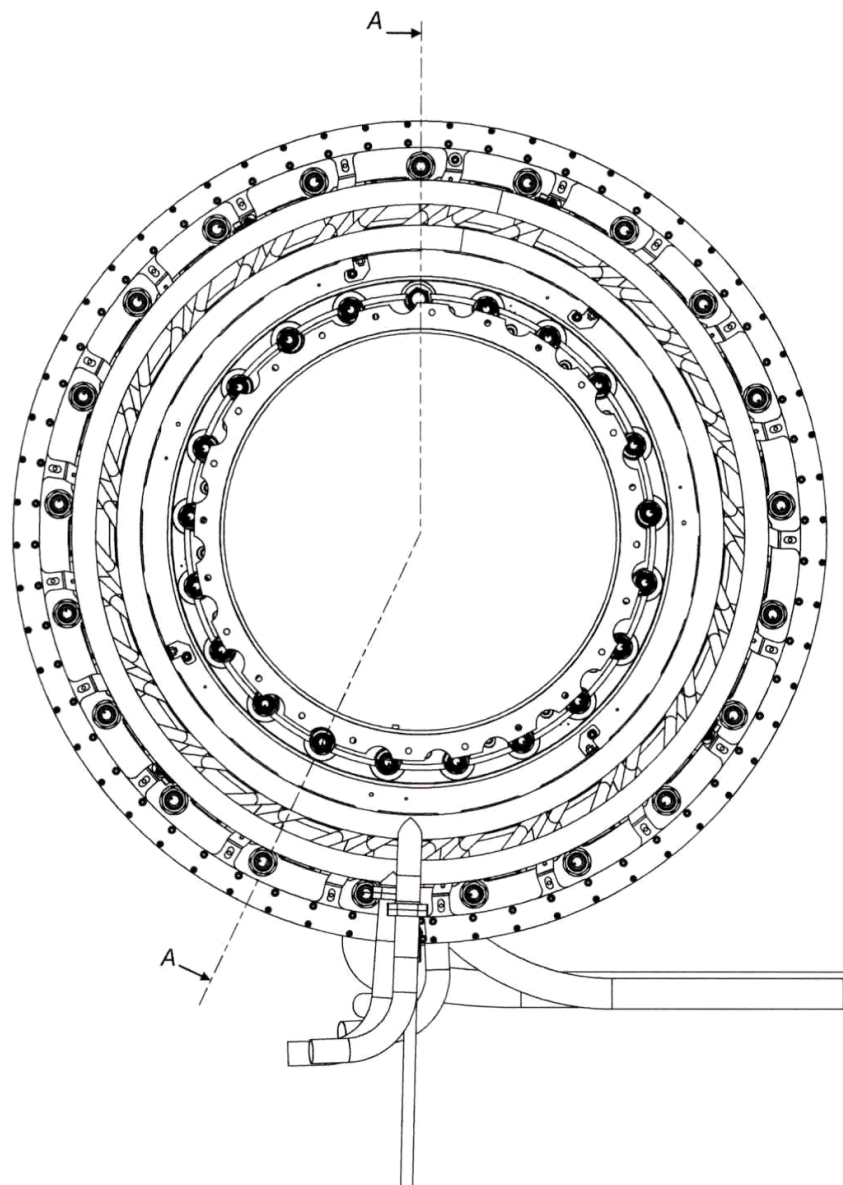
ФІГ. 8А



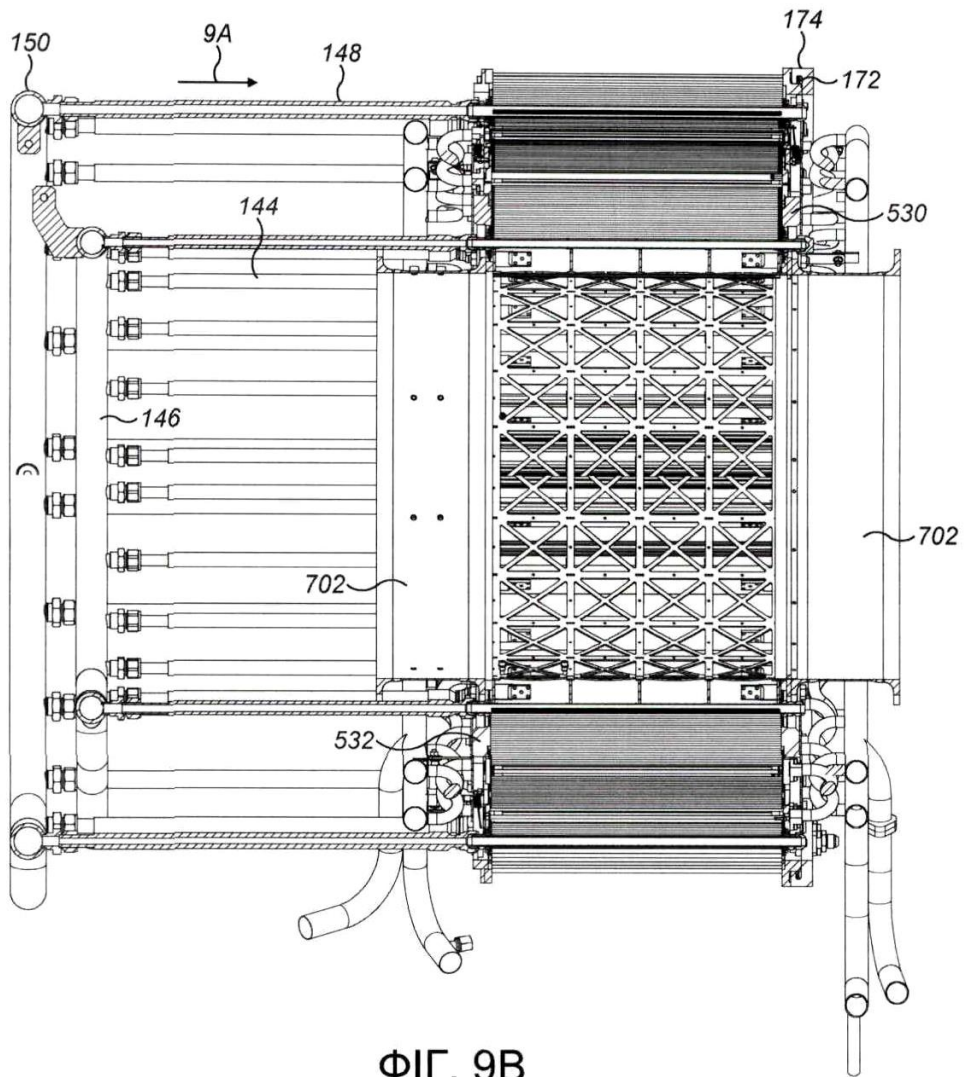
ФІГ. 8В



ФІГ. 8С



ФІГ. 9А



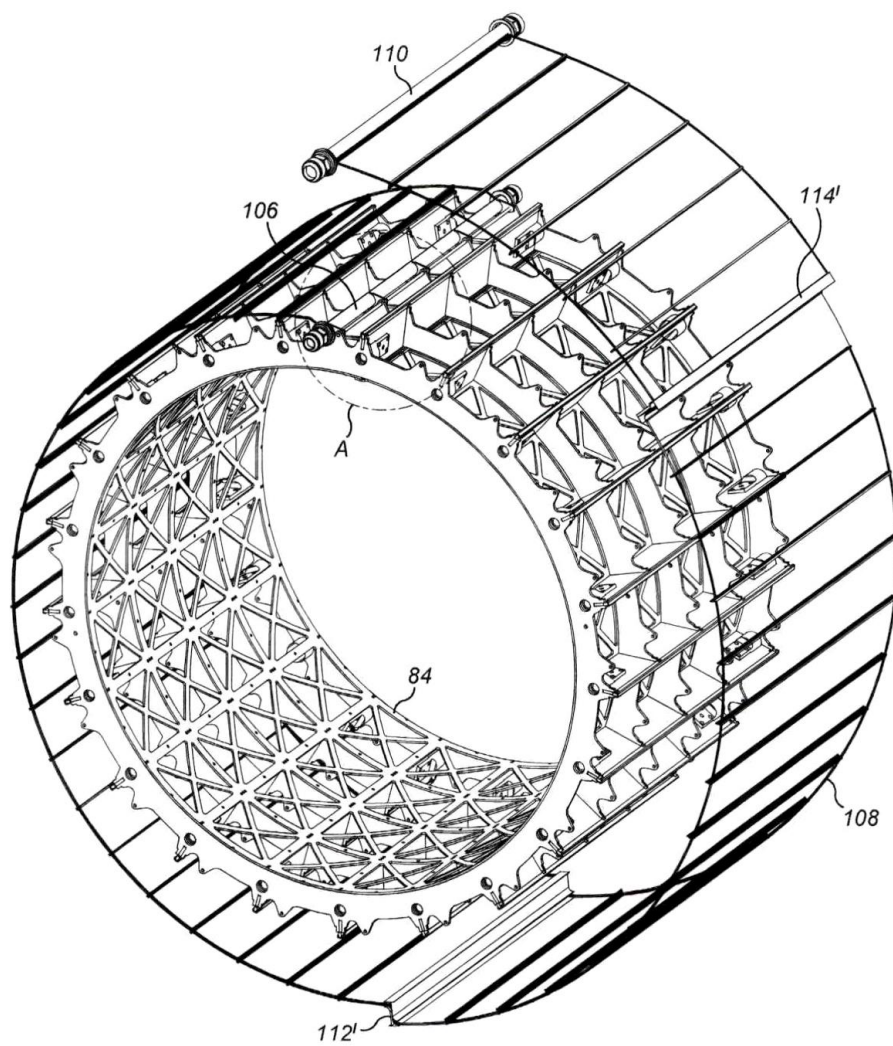
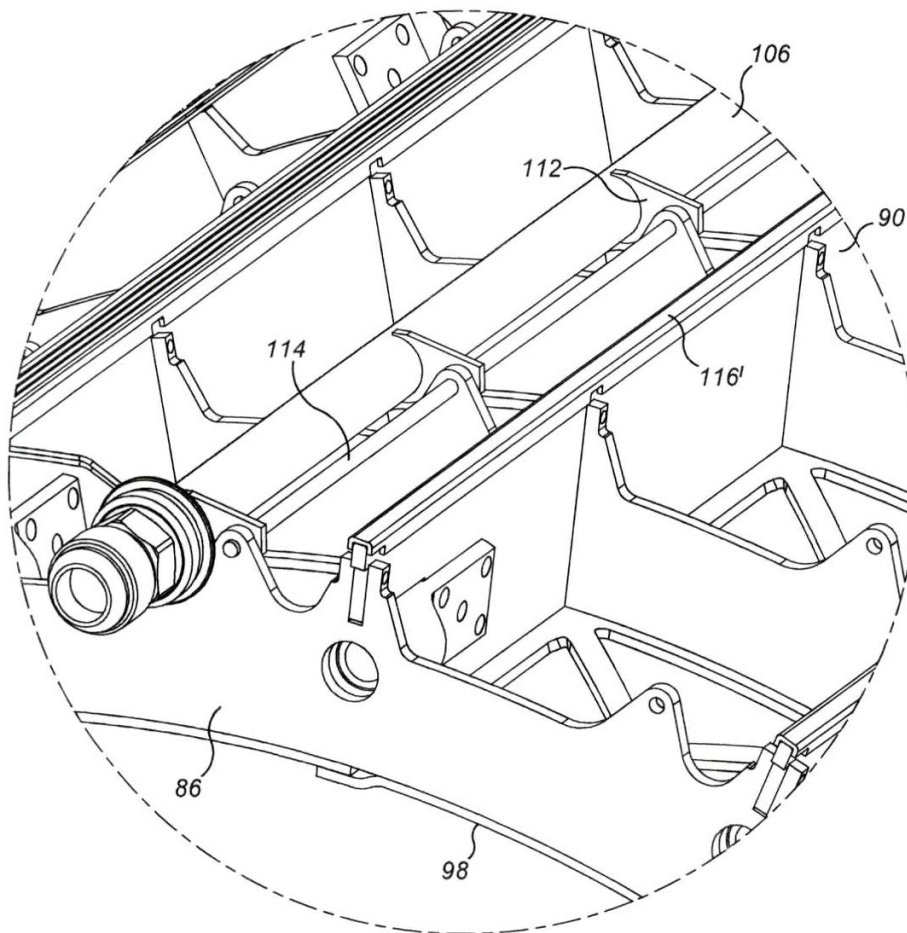
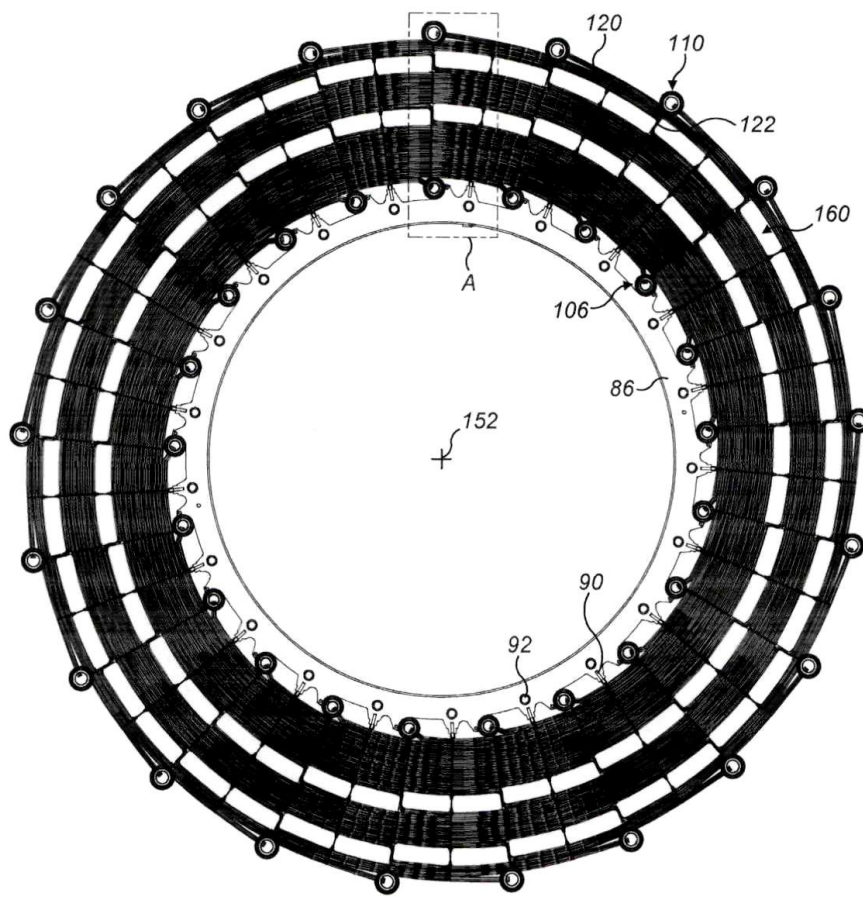


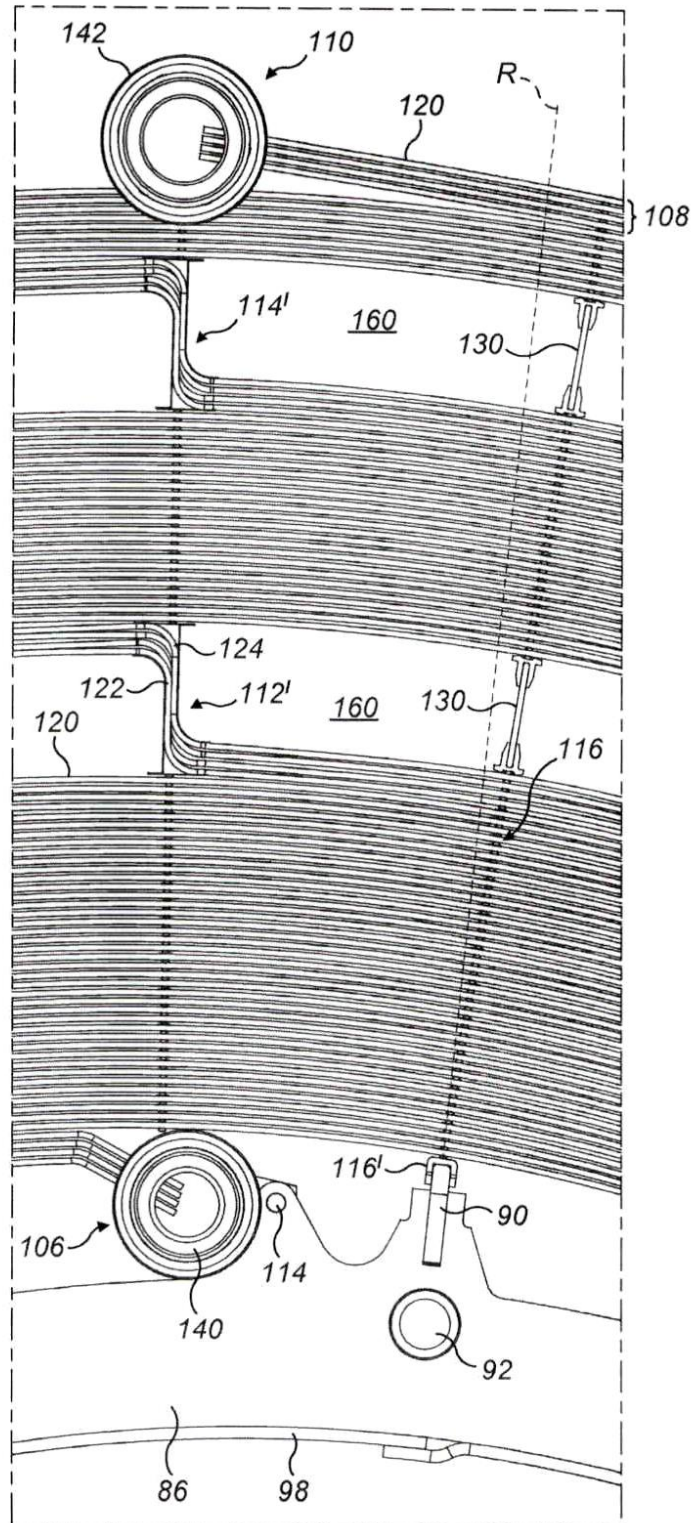
FIG. 10A



ФІГ. 10В



ФІГ. 11А



ΦΙΓ. 11B

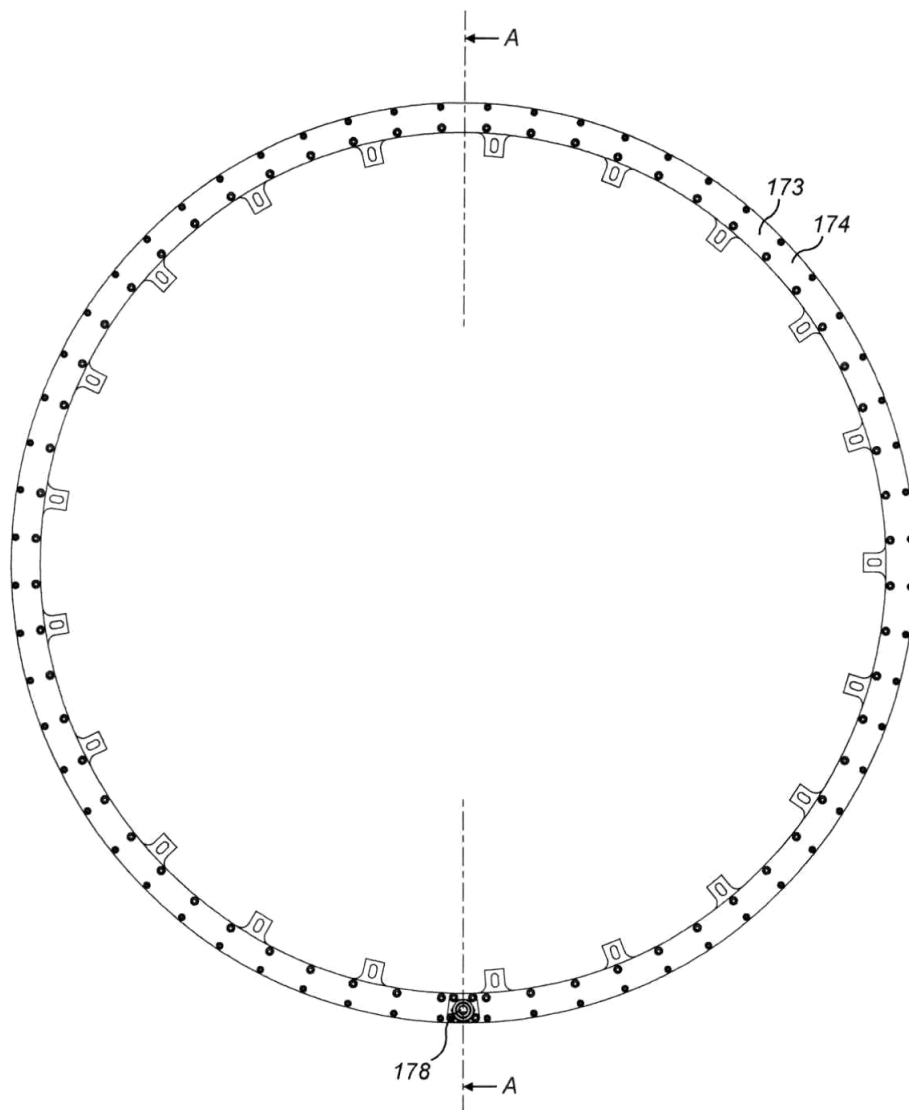
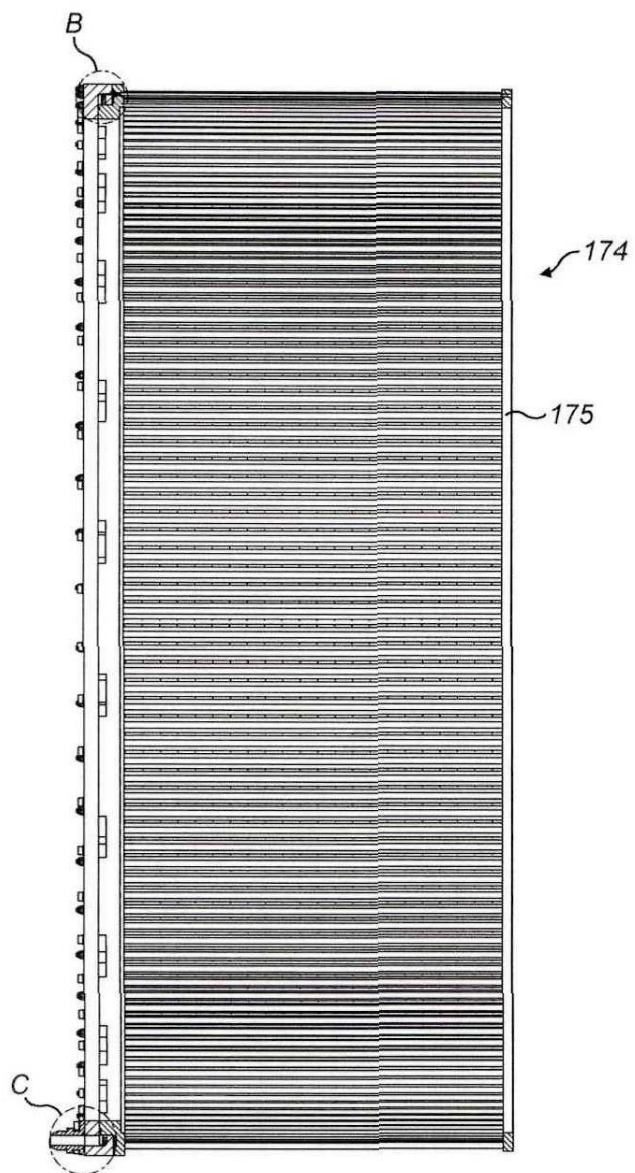
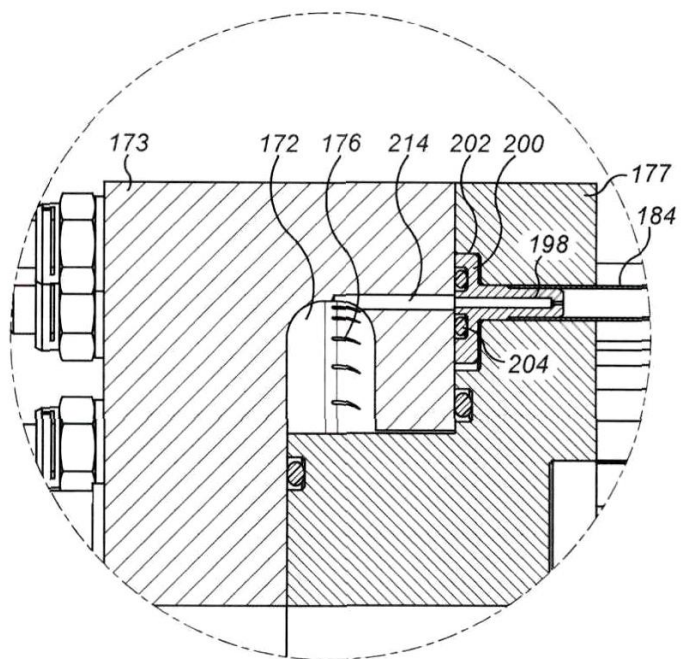


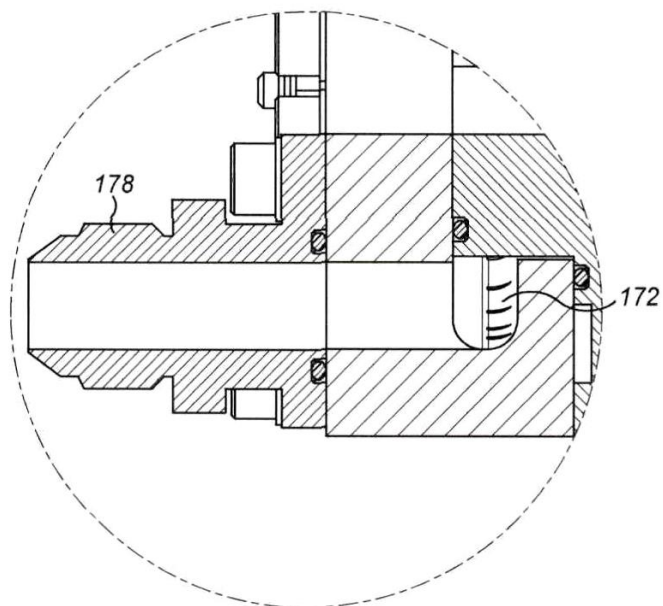
FIG. 12A



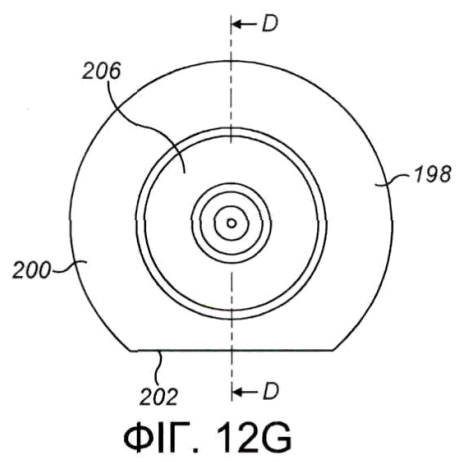
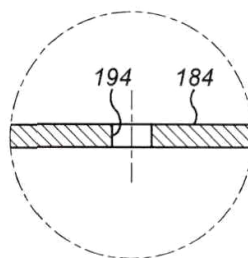
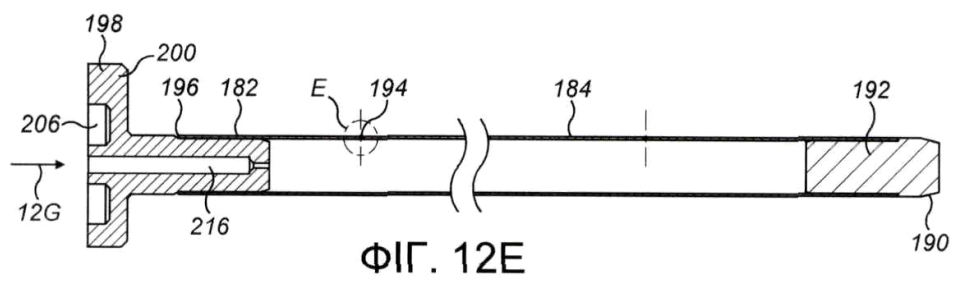
ФІГ. 12В

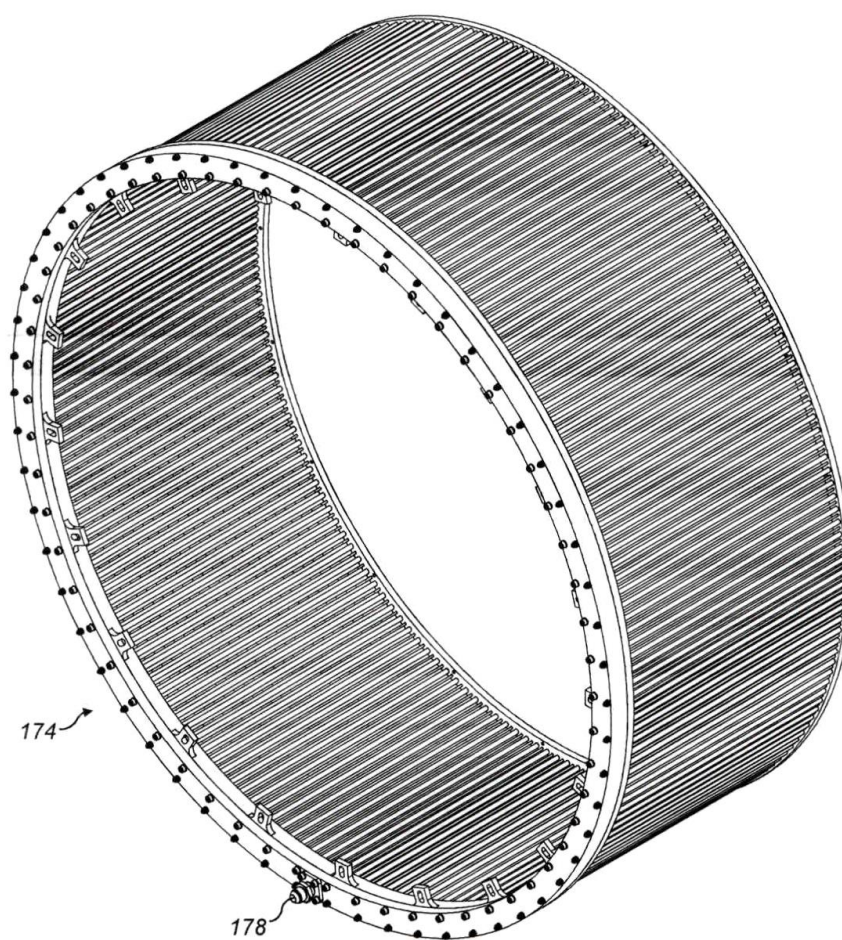


ФІГ. 12С



ФІГ. 12D





ФІГ. 12Н

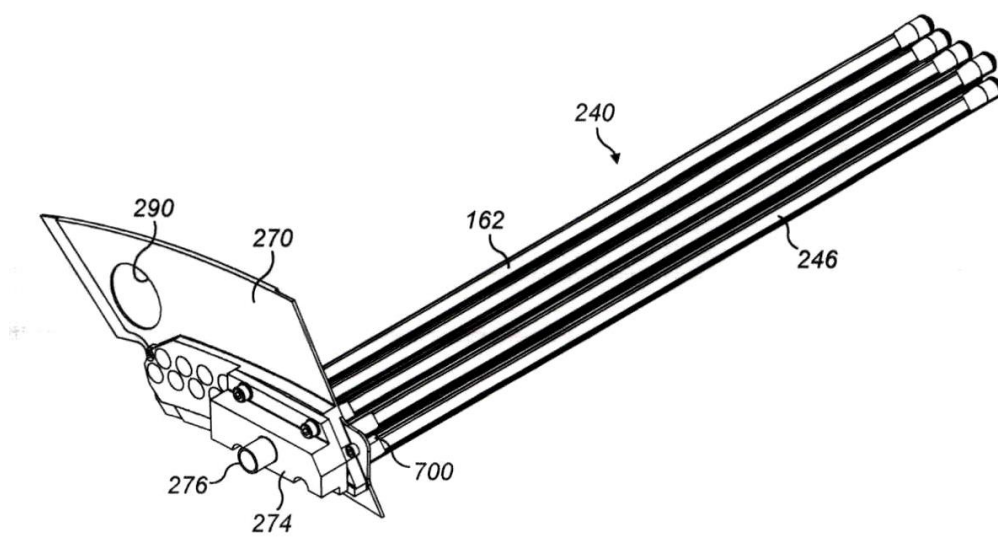


FIG. 13A

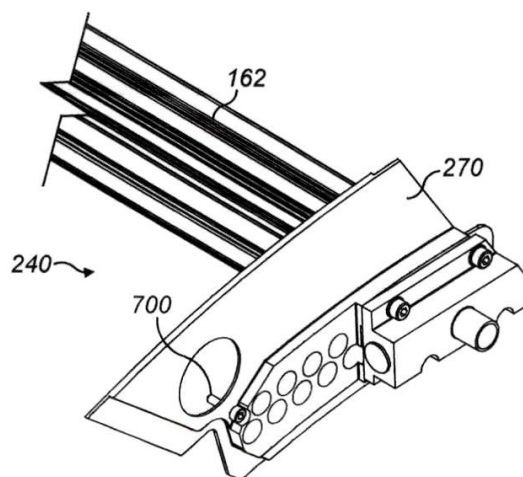


FIG. 13B

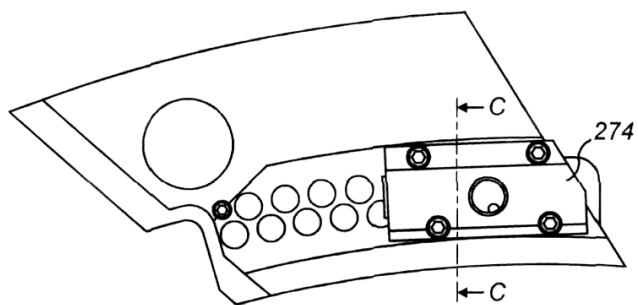


FIG. 13C

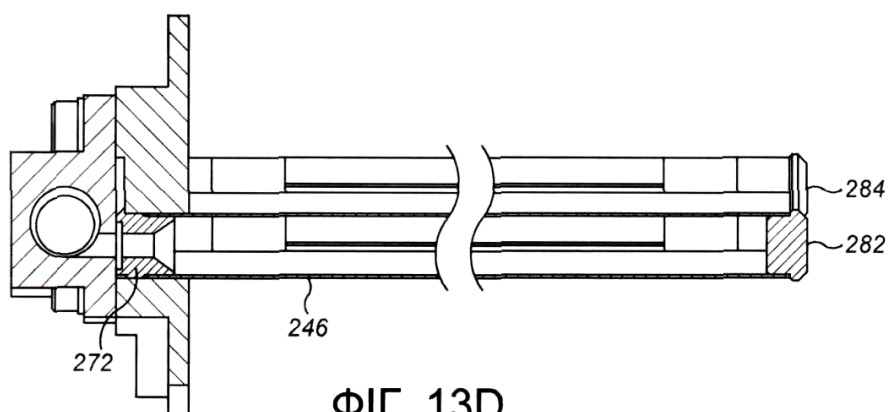


FIG. 13D

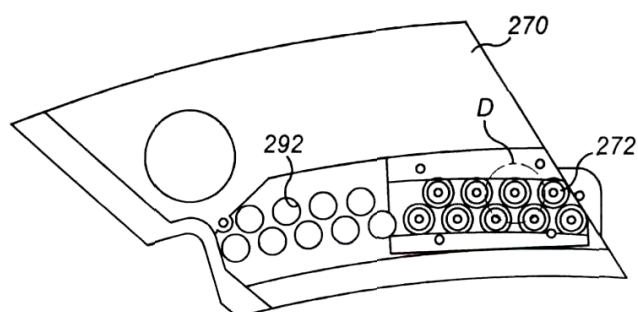


FIG. 13E

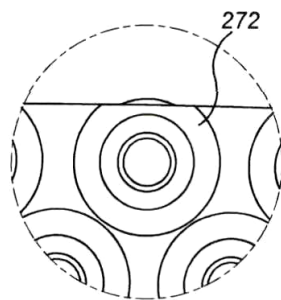


FIG. 13F

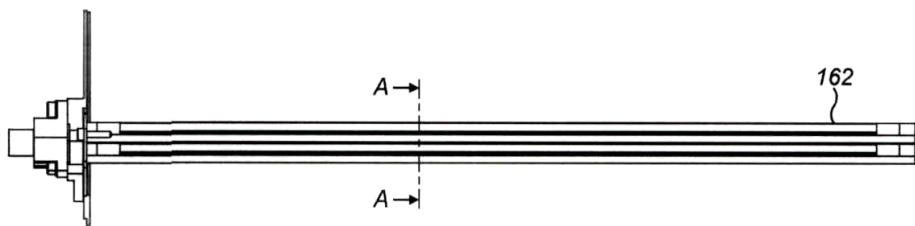


FIG. 13G

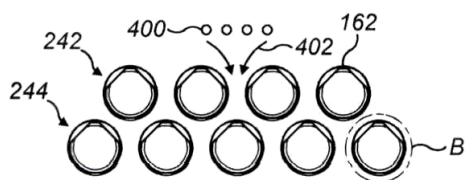


FIG. 13H

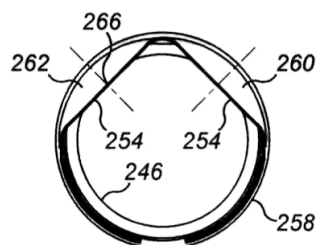


FIG. 13I



FIG. 14A

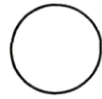


FIG. 14B

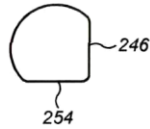


FIG. 14C

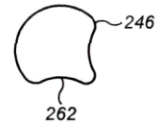


FIG. 14D

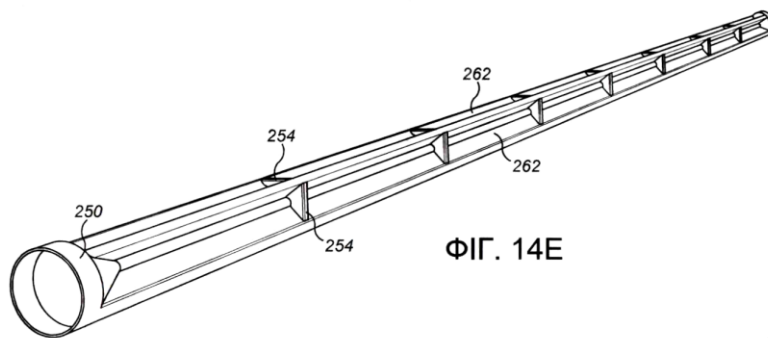


FIG. 14E

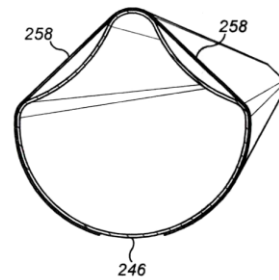


FIG. 14F

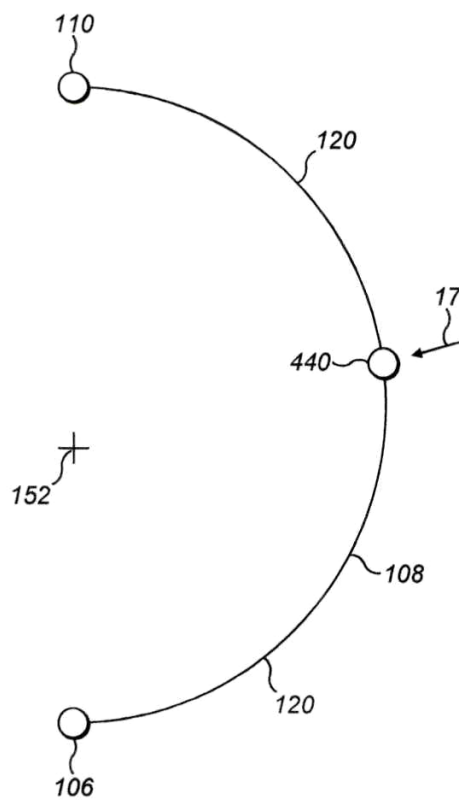


FIG. 15

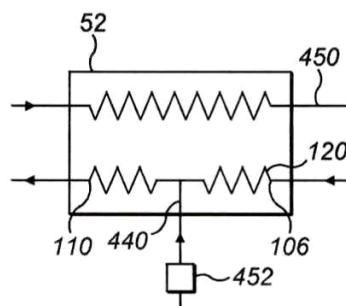
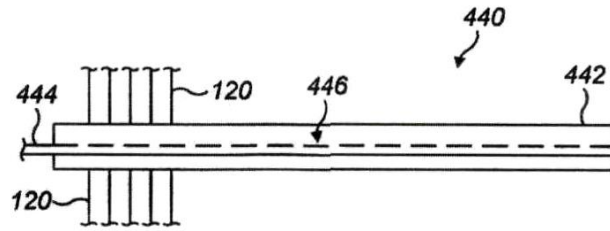
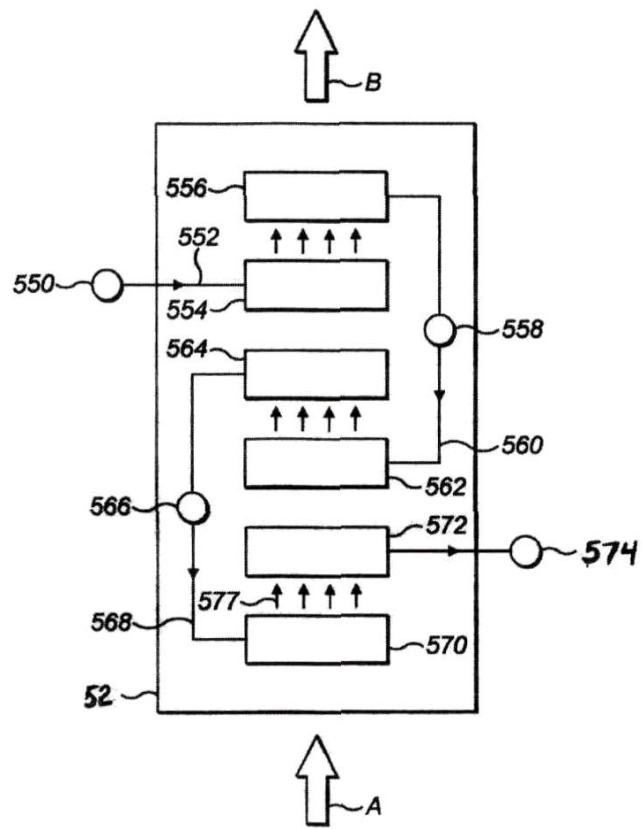


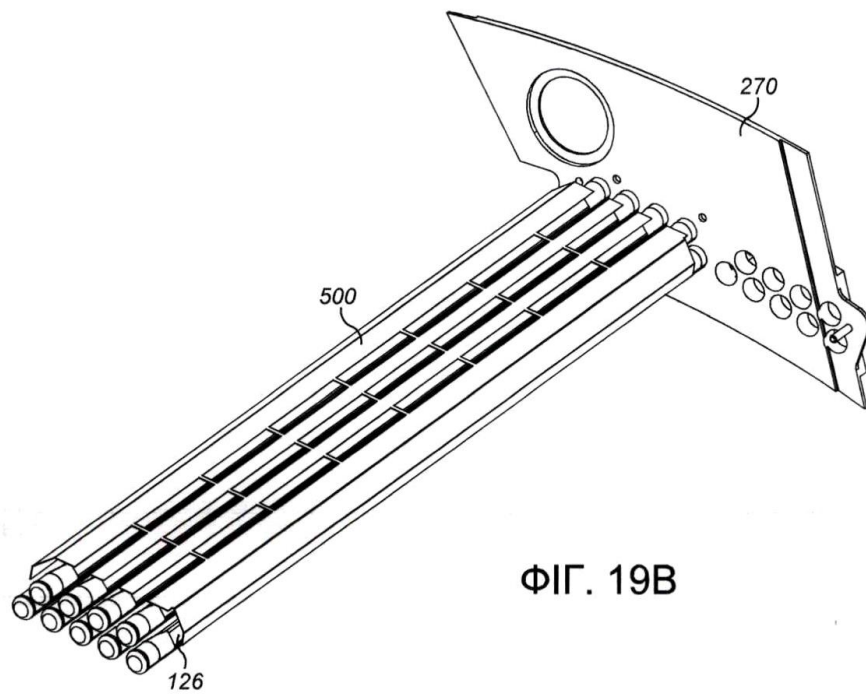
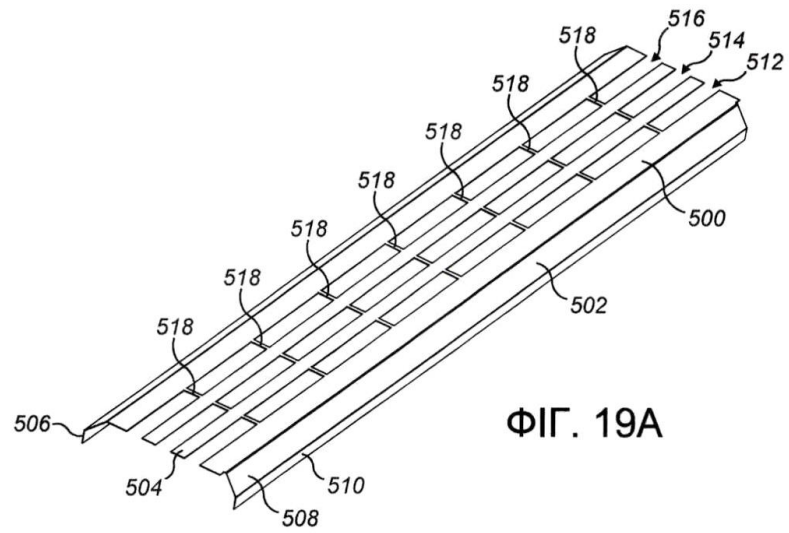
FIG. 16



ФІГ. 17



ФІГ. 18



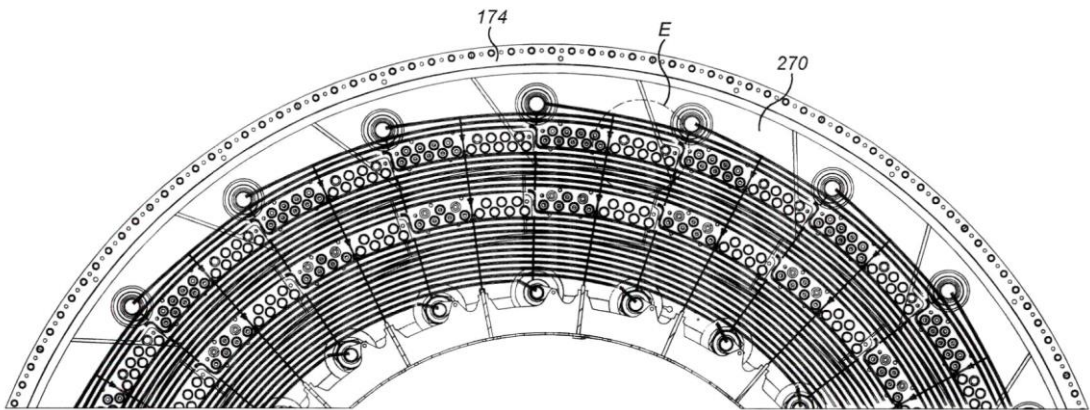


FIG. 19C

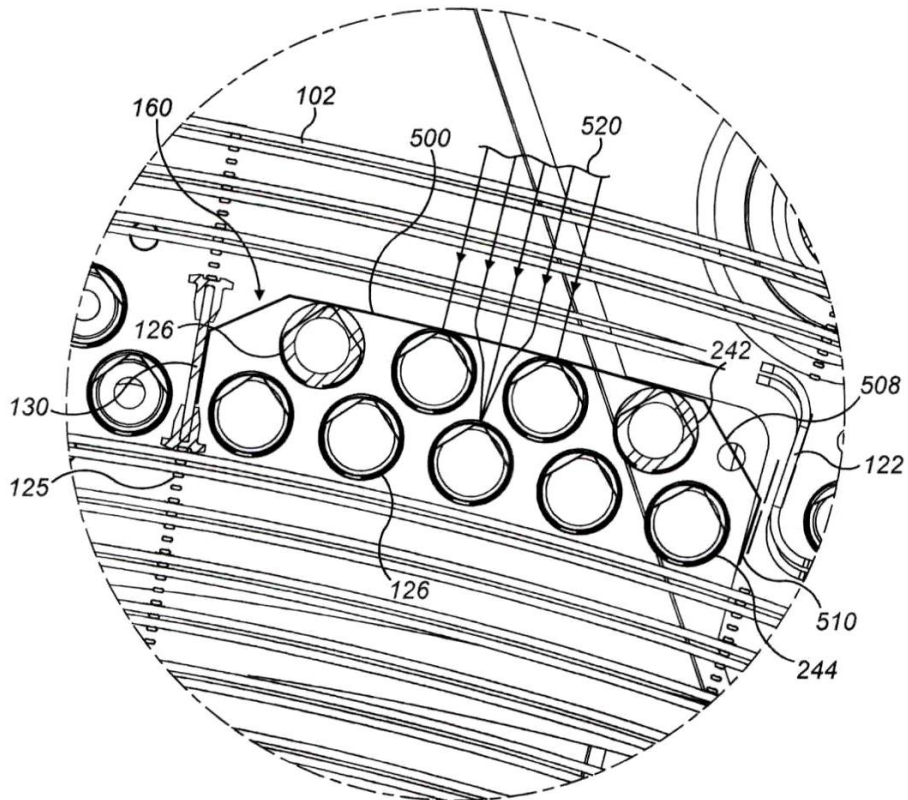
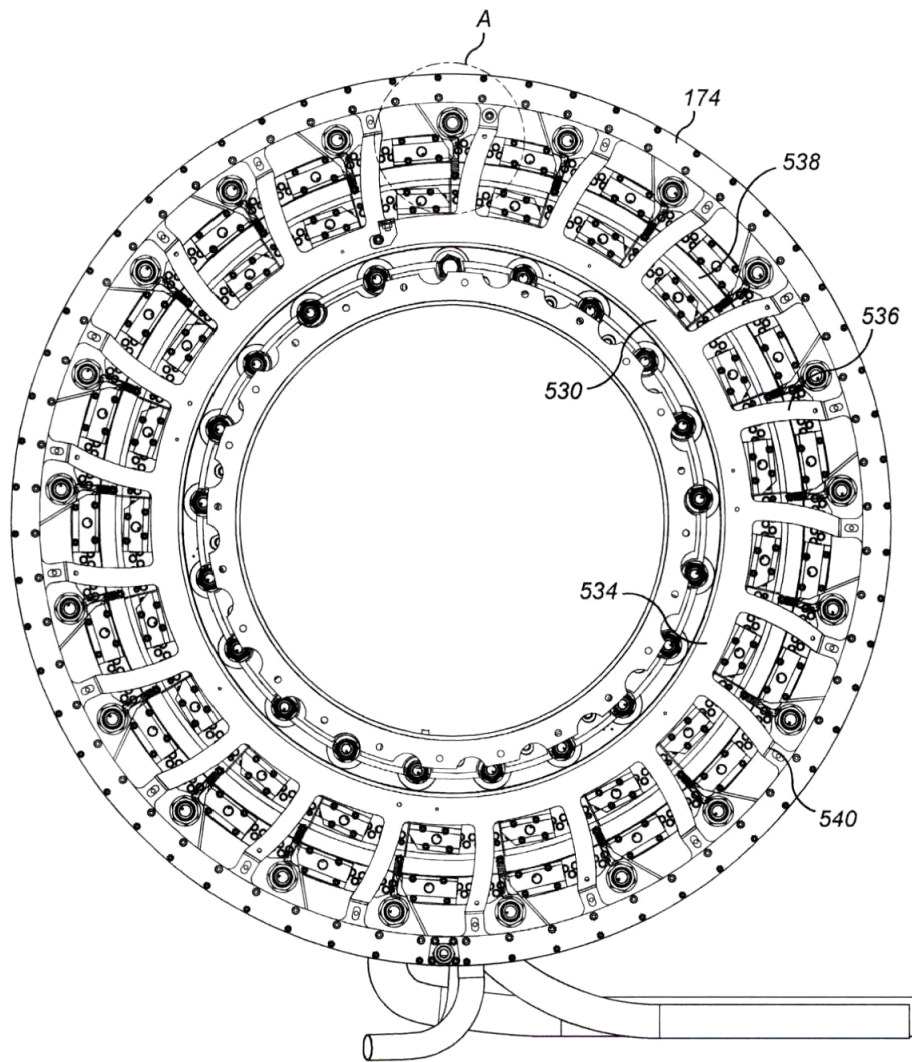


FIG. 19D



ФІГ. 20А

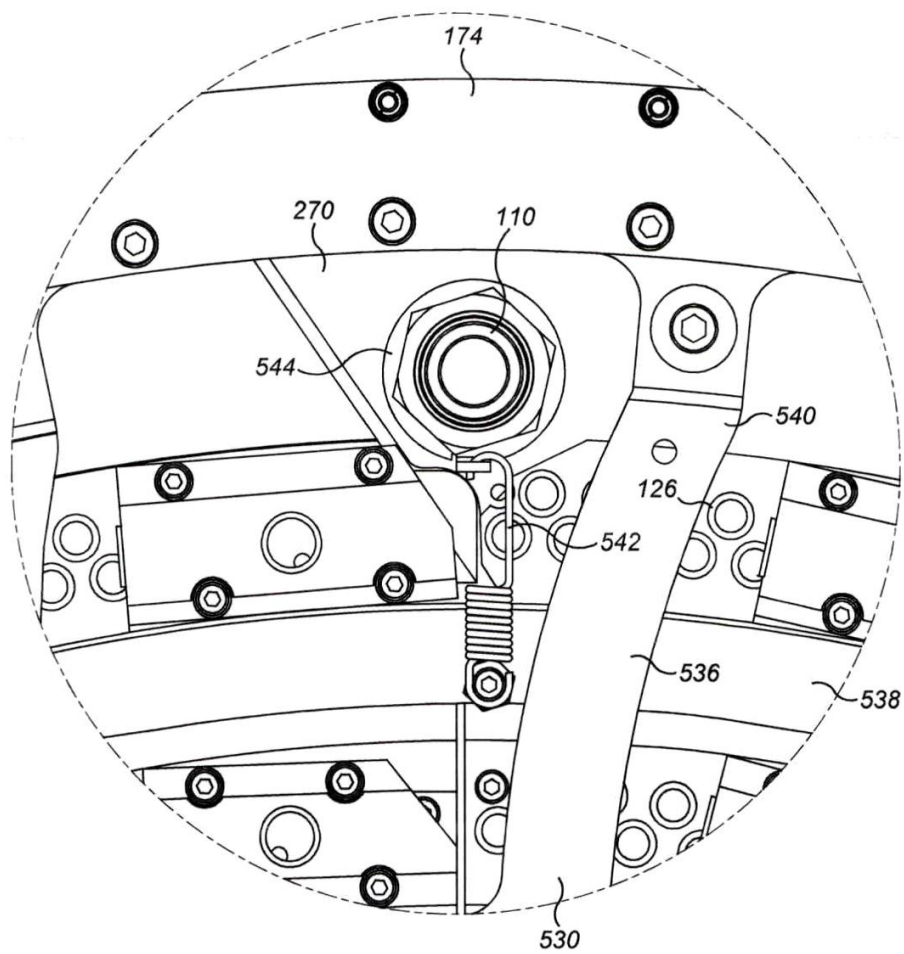
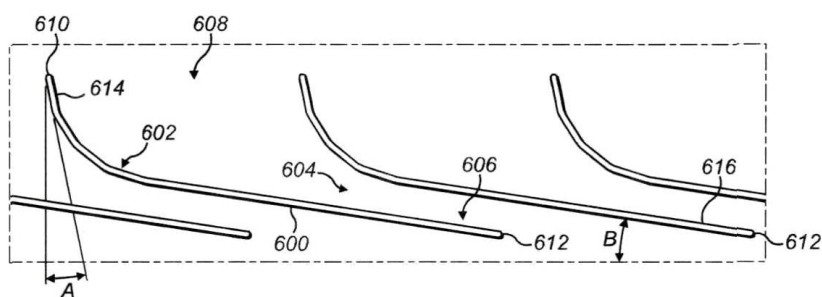
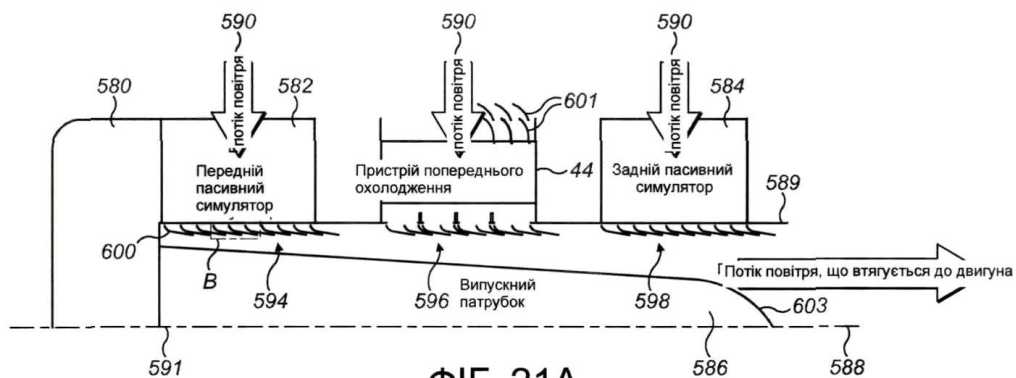


FIG. 20B



Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601