



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 131011

(13) C2

(51) МПК

G21C 15/24 (2006.01)

F04D 29/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2020 05975	(72) Винахідник(и):	Дем Річард (СА)
(22) Дата подання заявки:	21.02.2019	(73) Володілець (володільці):	КАНДУ ЕНЕРДЖИ ІНК., 2251 Speakman Drive, Mississauga, Ontario L5K 1B2, Canada (CA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	16.07.2026	(74) Представник:	Бочаров Максим Анатолійович, реєстр. №367
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	62/633,578	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	DE 2614884 A1, 20.01.1977 US 5171024 A, 15.12.1992 US 5217233 A, 08.06.1993 JP 2012241724 A, 10.12.2012 EP 0439308 B1, 02.05.1997 US 4272084 A, 09.06.1981 CN 103821757 A, 28.05.2014 CN 105673551 A, 15.06.2016
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	21.02.2018		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	US		
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.11.2020, Бюл.№ 21		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	15.07.2026, Бюл.№ 28		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/CA2019/050214, 21.02.2019		

(54) НАСОС ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ ДЛЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ, УЩІЛЬНЮВАЛЬНИЙ ВУЗОЛ НАСОСА ТА СПОСІБ УЩІЛЬНЕННЯ НАСОСА

(57) Реферат:

Ущільнювальний вузол насоса, який містить сальникову коробку для кріплення до корпусу насоса. У сальниковій коробці розміщений канал ступінчатого потоку, що містить декілька камер ущільнення. Ступінь ущільнення розміщений у кожній камері ущільнення, кожна з яких містить статичний ущільнювальний елемент і обертальний ущільнювальний елемент, причому ущільнювальні елементи притиснені один до одного для утворення непроникного для рідкого середовища ущільнення. Роторний вузол прокачує охолоджувальну рідину через сальникову коробку. Рідина, що проходить по каналу ступінчатого потоку, прискорюється поверхнею прискорення роторного вузла. Впускний канал подає охолоджувальну рідину в канал ступінчатого потоку і повз поверхню прискорення.

UA 131011 C2

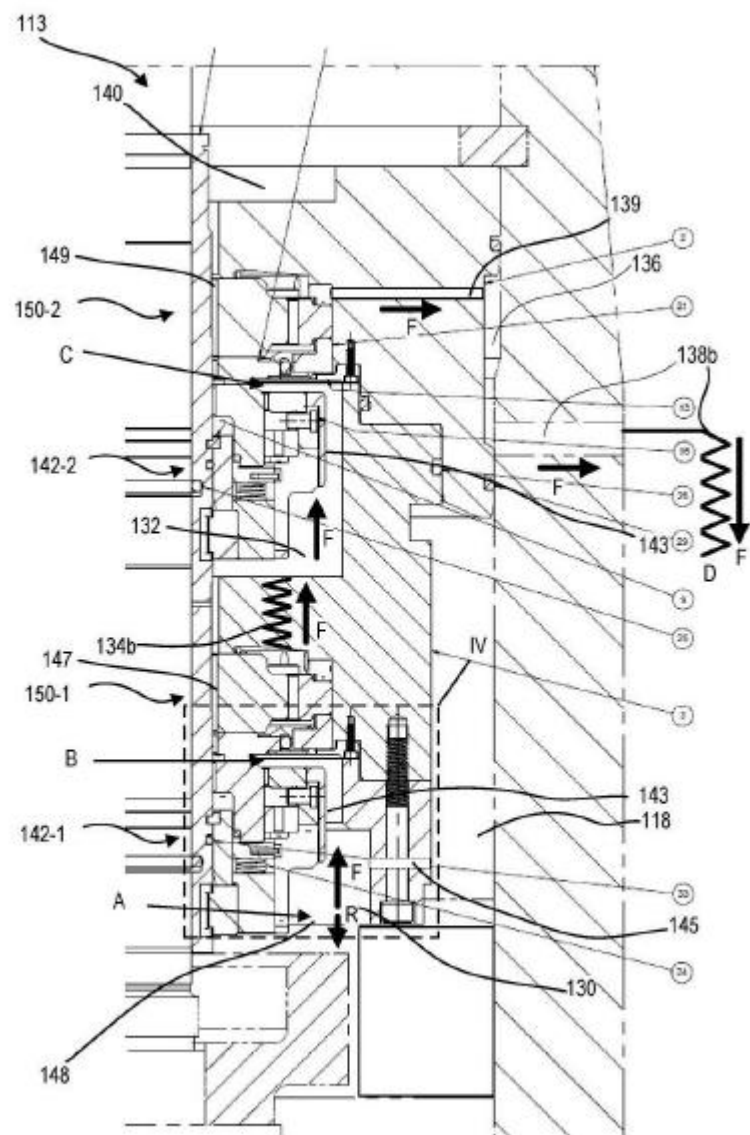


Fig. 3

Перехресне посилання на споріднені заявки

Дана заявка запитує всі переваги, включаючи пріоритет попередньої заявки на патент США 62/633,578, поданої 21 лютого 2018 р., під назвою "УЩІЛЬНЕННЯ НАСОСА ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ РІДИНИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ТА СПОСОБИ УЩІЛЬНЕННЯ", зміст якої включено до даного документу у повному обсязі за допомогою посилання.

Галузь техніки

Дана заявка стосується виробництва ядерної енергії та, зокрема, насосів охолоджувальної рідини для установок для виробництва ядерної енергії.

Рівень техніки

В установках для виробництва ядерної енергії охолоджувальна рідина, наприклад, вода циркулює за допомогою насосів для регулювання температури реактора та швидкості реакції. Ущільнення насоса має важливе значення для роботи. Крім того, ефективне ущільнення може бути важливим для дотримання нормативних вимог, наприклад, для запобігання витoku радіоактивного матеріалу.

В обертальних машинах, таких як насоси, ущільнення можуть бути встановлені між стаціонарними і обертальними компонентами. В таких ситуаціях перепад тиску, який може підтримуватися на ущільненні, може бути пропорційним тиску, з яким ущільнювальні елементи притиснені один до одного. Однак підвищений тиск на ущільненні може призвести до збільшення зносу ущільнювальних елементів.

Ефективне падіння тиску на ущільненні може залежати від умов рідкого середовища поблизу ущільнення, таких як тиск та швидкість потоку. Таким чином, баланс ефективності і довговічності ущільнення також може залежати від умов рідкого середовища.

Суть винаходу

Насос охолоджувальної рідини для виробництва ядерної енергії містить: корпус, що містить сальникову коробку; ущільнювальний вузол, що містить канал ступінчатого потоку, що визначає першу і другу камери ущільнення; роторний вузол, що прокачує охолоджувальну рідину через сальникову коробку, причому роторний вузол містить поверхню прискорення, де рідина, що проходить по каналу ступінчатого потоку, прискорюється поверхнею прискорення; перший і другий ступені ущільнення в першій і другій камерах ущільнення, кожна з яких містить статичний ущільнювальний елемент і обертальний ущільнювальний елемент, причому ущільнювальні елементи притиснені один до одного для утворення непроникного для рідкого середовища ущільнення; впускний канал для подачі охолоджувальної рідини в канал ступінчатого потоку і повз поверхню прискорення.

Приклад способу ущільнення насоса в установці для виробництва ядерної енергії включає: направлення рідини під тиском через першу секцію каналу ступінчатого потоку в напрямку до першого ущільнення; збільшення кутової швидкості рідини під тиском, коли вона протікає через канал ступінчатого потоку шляхом руху роторного вузла насоса; направлення рідини під тиском через другу секцію каналу ступінчатого потоку в напрямку до другого ущільнення.

Ущільнювальний вузол для насоса містить: сальникову коробку для кріплення до корпусу насоса; канал ступінчатого потоку у сальниковій коробці сальника, що визначає першу і другу камери ущільнення; роторний вузол, що прокачує охолоджувальну рідину через сальникову коробку, причому роторний вузол містить поверхню прискорення, де рідина, що проходить по каналу ступінчатого потоку, прискорюється поверхнею прискорення; перший і другий ступені ущільнення в першій і другій камерах ущільнення, кожна з яких містить статичний ущільнювальний елемент і обертальний ущільнювальний елемент, причому ущільнювальні елементи притиснені один до одного для утворення непроникного для рідкого середовища ущільнення; впускний канал для подачі охолоджувальної рідини в канал ступінчатого потоку і повз поверхню прискорення.

Короткий опис креслень

На фігурах, які представляють приклади варіантів здійснення, зображено:

Фіг. 1 являє собою схематичний вигляд насоса охолоджувальної рідини;

Фіг. 2А являє собою вигляд у поперечному перерізі насоса за фіг. 1;

Фіг. 2В являє собою частково збільшений вигляд фрагмента II за фіг. 1, що показує роторний підвузол;

Фіг. 2С являє собою частково збільшений вигляд фрагмента II за фіг. 1, що показує статорний підвузол;

Фіг. 3 являє собою збільшений вигляд фрагмента II за фіг. 1, що показує шлях потоку води через насос охолоджувальної рідини; та

Фіг. 4 являє собою збільшений вигляд фрагмента IV на фіг. 3, що показує деталі ступеню ущільнення.

Детальний опис

На фіг. 1 зображений насос 100 охолоджувальної рідини для застосування в установках для виробництва ядерної енергії. Насос 100 охолоджувальної рідини має корпус 102.

Насос 100 містить обертальний вузол насоса, що містить привідний вал 108, приєднаний до крильчатки 110 насоса (наприклад, пропелер) для циркуляції робочої рідини. Привідний вал 108 встановлений у корпус 102 гідростатичним підшипником 101. Робоча рідина може являти собою охолоджувальну рідину реактора, таку як вода. Крильчатка 110 насоса втягує робочу рідину в насос 100 через впускний отвір 112 та виштовхує робочу рідину з насоса під тиском через впускний отвір 114.

Сальник 113 встановлений поверх корпусу 102 навколо гідростатичного підшипника 101 та приймає вал 108. Сальник 113 містить ущільнювальний вузол 116 для запобігання витoku рідини з насоса 100. Ущільнювальний вузол 116 забезпечує ущільнення між обертальними компонентами, встановленими на привідному валу 108, які називають обертальним вузлом 104 насоса, та стаціонарними компонентами, що встановлені на або утворюють частину сальника 113, які називають стаціонарним вузлом 106. Сальник 113 визначає внутрішню камеру 118 рідини. Камера 118 рідини утримує рідину під високим тиском, що утримує робочу рідину в основному корпусі крильчатки насоса 100.

Рідина циркулює через камеру 118 рідини в контурі 117 ступінчатого потоку та рециркуляційному контурі 119. Контур 117 ступінчатого потоку направляє робочу рідину через ряд камер для ступінчатого ущільнення. Рециркуляційний контур 119 забезпечує рух потоку робочої рідини між внутрішньою камерою 118 рідини та охолоджувальним резервуаром 121. Циркуляція через охолоджувальний резервуар 121 забезпечує подачу холодної робочої рідини для циркуляції через ступінчатий контур 117, так що потік через контур 117 ступінчатого потоку охолоджує компоненти ущільнювального вузла 116. Потік через рециркуляційний контур 119 може бути приведений у рух допоміжним ротором 123. Допоміжний ротор також створює потік рідини під тиском всередині камери 118 рідини у напрямку до гідростатичного підшипника 101 для того, щоб рідина, що проходить через гідростатичний підшипник 101, переміщалася з камери 118 рідини в основний корпус крильчатки насоса 100.

Робоча рідина може потрапляти в контур 117 ступінчатого потоку під тиском із камери 118 та проходити повз компоненти ущільнювального вузла 116 для зниження тиску на одному або кількох ступенях ущільнення. Потік через контур 117 ступінчатого потоку може також охолоджувати та змащувати ущільнювальні інтерфейси і інші компоненти. Зокрема, кожний ступінь ущільнення може включати в себе інтерфейс між обертальним ущільнювальним елементом і стаціонарним ущільнювальним елементом, які можуть бути притиснені один до одного для утворення герметичного ущільнення. Відносний рух таких ущільнювальних компонентів при притисканні один до одного може призвести до зносу ущільнювальних елементів та накопичення тепла за рахунок тертя.

Сили, що діють на ущільнення, можуть бути представлені як коефіцієнт навантаження, а саме співвідношення сил, що намагаються закрити ущільнення, і сил, що намагаються відкрити ущільнення. Коефіцієнт навантаження ущільнення може корелювати зі схильністю ущільнення до протікання або виходу з ладу – вищі коефіцієнти навантаження відповідають більш щільним (більш герметичним) ущільненням, а нижчі коефіцієнти навантаження відповідають більш вільним (менш герметичним) ущільненням.

Притискання ущільнювальних елементів один до одного може збільшувати стійкість ущільнення до протікання. Однак, це також може збільшити швидкість зносу ущільнення і тепла, що виробляється в ході руху ущільнювальних елементів один відносно одного. Як правило, ущільнення призначені для встановлення певного коефіцієнта навантаження, щоб досягти компромісу між стійкістю до протікання і довговічністю. Коефіцієнт навантаження, вибраний для конкретного застосування ущільнення, може залежати від перепаду тиску, утворюваного на ущільненні, та необхідного терміну служби ущільнення.

На коефіцієнт навантаження ущільнення серед інших факторів може впливати також геометрія ущільнення, така як внутрішній і зовнішній діаметри кільця статора, тиски рідини на сторонах високого тиску і низького тиску ущільнення, а також будь-яка механічна сила, яка застосовується для притискання елементів ущільнення один до одного.

На фіг. 2А, 2В і 2С більш детально зображений ущільнювальний вузол 116. На фіг. 2А представлений вигляд у поперечному перерізі всього ущільнювального вузла 116. На фіг. 2В представлений збільшений вигляд фрагмента II за фіг. 2А, на якому показані компоненти обертального вузла 104 насоса, що встановлені для обертання приводним валом 208. На фіг. 2С представлений збільшений вигляд фрагмента II за фіг. 2А, на якому показані компоненти стаціонарного вузла 106, що є стаціонарними та встановлені у сальник 113.

[0025] У представленому варіанті здійснення ущільнювальний вузол 116 містить два ступені 120 ущільнення, які окремо називають ступенями 120-1 і 120-2 ущільнення. Ступені 120-1, 120-2 ущільнення утворюють перший і другий ступені ущільнення. Ступені 120-1, 120-2 ущільнення містять відповідні ущільнювальні елементи 126-1, 126-2 ротора (разом ущільнювальні елементи 126 ротора). Ступені 120-1, 120-2 ущільнення містять відповідні ущільнювальні елементи 128-1, 128-2 статора (разом ущільнювальні елементи 128).

Як найкраще показано на фіг. 2А і 3, обертальні вузли 142 розміщені всередині первинної ступінчатої камери 130 і вторинної ступінчатої камери 132, які утворюють частину контуру 117 ступінчатого потоку.

Ущільнювальні елементи 128 статора встановлені всередині блочних структур 150, які встановлені в камері 118 та надійно утримують ущільнювальні елементи 128 статора у фіксованому положенні. Блочні структури 150 визначають множину внутрішніх ступінчатих камер. Як показано, блочні структури 150 визначають дві ступінчаті камери, а саме первинну ступінчатую камеру 130 і вторинну ступінчатую камеру 132. Кожна ступінчата камера відповідає ступеню ущільнення ущільнювального вузла 116. В інших варіантах здійснення може бути визначено більше або менше двох ступінчатих камер, наприклад, одна камера для кожного ступеню 120 ущільнення.

У представленому варіанті здійснення обертальні вузли 142 ступенів 120-1, 120-2 ущільнення ідентичні. Така конструкція може дозволяти обертальним вузлам 142 бути взаємозамінними, обмежуючи кількість унікальних деталей і вузлів у насосі 100.

Фіг. 3 являє собою спрощену схематичну діаграму ступенів 120-1, 120-2 ущільнення ущільнювального вузла 116, що показує ступінчатий потік охолоджувальної рідини.

Первинна ступінчата камера 130 і вторинна ступінчата камера 132 сполучаються за допомогою каналу 134 ступінчатого потоку. Канал 134 ступінчатого потоку приймає потік із первинної ступінчатої камери 130 та містить звивистий проточний канал, наприклад, зміювик. Звивистий шлях потоку сприяє обмеженню потоку через канал 134 таким чином, що охолоджувальна рідина протікає через канал із заданою швидкістю та з певним падінням тиску. В деяких варіантах здійснення звивистий шлях потоку може мати отвір, розмір якого підібраний таким чином, щоб створювати падіння тиску.

Вторинна ступінчата камера 132 приймає потік із каналу 134 ступінчатого потоку та випускає ступінчатий потік через випускний канал 138. Як показано, випускний канал 138 проходить через статорний блок 150. Потік, що виходить через випускний канал 138, піддається подальшому обмеженню та падінню тиску до приблизно атмосферного тиску. Випускний канал 138 може бути виконаний з можливістю встановлювати обмеження потоку, подібні до обмежень каналу 134. Так, наприклад, випускний канал 138 може містити канал зі звивинами, для встановлення обмежень потоку або може мати отвір з невеликою площею поперечного перерізу, що обмежує потік на вході або в іншому місці. Альтернативно, таке обмеження потоку може бути встановлене зовні на випускний канал 138. Додатковий ступінчатий і охолоджувальний потік може проходити через колекторний канал 139, який може зв'язуватися з випускним каналом 138 через ресивер 136.

Гідравлічні камери 147, 149 розміщені за ступенями 120-1, 120-2 ущільнення відповідно. Кожний ступінь 120 ущільнення виконаний з можливістю пропускання невеликої кількості рідини у відповідну гідравлічну камеру. Таким чином, ступінь 120-1 ущільнення допускає незначний витік рідини у гідравлічну камеру 147, а ступінь 120-2 ущільнення допускає незначний витік рідини у гідравлічну камеру 149. Гідравлічна камера 147 спускає рідину у вторинну ступінчатую камеру 132. Гідравлічна камера 149 спускає рідину до виходу 140.

Гідравлічні камери 147, 149 являють собою сторони низького тиску ступенів 120-1, 120-2 ущільнення. Перепад тиску на ступені 120-1 ущільнення приблизно дорівнює падінню тиску, що виникає у каналі 134а, 134b ступінчатого потоку. Перепад тиску на ступені 120-2 ущільнення приблизно дорівнює падінню тиску між входом у випускний канал 138а, 138b та тиском на виході 140 (наприклад, атмосферним тиском).

Контур 117 ступінчатого потоку визначає шлях потоку із камери 118 у первинну ступінчатую камеру 130, потім через канал 134 ступінчатого потоку у вторинну ступінчатую камеру 132, через випускний канал 138 та зрештою через вихідний отвір 140. Шлях потоку контуру 117 ступінчатого потоку проходить в основному в осьовому напрямку, тобто в напрямку паралельно осі привідного валу насоса 100.

Рідина в камері 118 знаходиться під високим тиском, який зазвичай перевищує тиск на виході насоса 100. Рідина, що виводиться через випускний канал 138, знаходиться під більш низьким тиском, який може приблизно дорівнювати атмосферному тиску. В одному з прикладів падіння тиску у контурі 117 ступінчатого потоку становить приблизно 1000 фунтів на квадратний

дюйм. В інших варіантах здійснення падіння тиску може бути більшим, наприклад, 1500 фунтів на квадратний дюйм, або меншим, наприклад, 200 фунтів на квадратний дюйм.

Ступені 120-1, 120-2 ущільнення та контур 117 ступінчатого потоку виконані з можливістю розподілення падіння тиску. Іншими словами, декілька ступенів 120 можуть бути виконані таким чином, що кожний ступінь несе лише частину загального падіння тиску у вузлі 116. Перше падіння тиску відбувається на ступені 120-1 ущільнення і через канал 134 ступінчатого потоку, а друге падіння тиску відбувається на ступені 120-2 ущільнення і через випускний канал 138a, 138b. Загальний тиск рідини у критичній точці на вході первинної ступінчатої камери 130 є приблизно таким, як і загальний тиск у критичній точці на ущільнювальному інтерфейсі ступеню 120-1 ущільнення (точка B на фіг. 3). Загальний тиск у критичній точці на вході первинної ступінчатої камери 130 вищий, ніж тиск на вході вторинної ступінчатої камери 132, приблизно на значення падіння тиску через канал 134 ступінчатого потоку. Атмосферний тиск, наприклад, у точці D на фіг. 3 нижчий, ніж тиск на ущільнювальному інтерфейсі ступеню 120-1 ущільнення (точка C на фіг. 3), приблизно на значення падіння тиску через випускний канал 138a, 138b. Як показано, канал 134 ступінчатого потоку і вихідний отвір 140 забезпечують однакове падіння тиску, тобто приблизно 500 фунтів на квадратний дюйм. В даному документі термін "тиск у критичній точці" стосується суми статичного тиску і динамічного тиску потоку рідини, а саме тиску, який би виник в результаті уповільнення потоку рідини до застою без втрат.

Хоча приклади варіантів здійснення, описані в даному документі, ілюструють два ступені 120-1, 120-2, інші варіанти здійснення містять три або більше ступенів. Третій та/або додаткові ступені розміщені послідовно з першими двома ступенями в каналі потоку. В деяких варіантах здійснення компоненти в третій секції або ступені каналу потоку, що взаємодіють з ним, можуть бути сконфігуровані таким чином, що кожний ступінь несе необхідну частину загального падіння тиску у вузлі. Ці компоненти та інтерфейси можуть включати геометрію камери, величини потоку, конфігурації ущільнювальних елементів, характеристики поверхні, довжини шляху потоку тощо та/або будь-яку іншу характеристику, описану в даному документі стосовно двоступеневої конструкції.

Посилання на вузол з першим та другим ступенями в деяких варіантах здійснення може стосуватися вузлів з понад двома ступенями.

На фіг. 4 показаний збільшений вигляд ущільнювальних елементів ступенів 120 ущільнення. Як зазначалося, ступені 120 ущільнення сконструйовані зі здатністю до незначного протікання. Таким чином, між ущільнювальними елементами зазвичай присутній тонкий шар 127 рідини, що протікає. Ущільнювальні елементи розсуваються за рахунок тиску рідини шару, що протікає, та притискаються один до одного за рахунок тиску рідини на сторонах високого тиску ступенів ущільнення та шляхом притискання обертальних вузлів 142 до блочних структур 150. Потік рідини навколо ущільнювальних елементів 126, 128 та між ущільнювальними елементами 126, 128 через шар 127, що протікає, забезпечує охолодження ущільнювальних елементів, що сприяє підтриманню постійних та/або прогнозованих температур ущільнювальних елементів 126, 128.

Обертальні вузли 142 можуть вільно рухатись в осьовому напрямку, так що положення обертальних вузлів 142 і тиск, з яким вони притискають ущільнювальні елементи один до одного, залежать від тиску рідини, що діє на обертальні вузли 142.

Як показано на фіг. 4, ущільнювальні елементи 126, 128 мають протилежні поверхні 126a, 128a, поверхні 126b, 128b високого тиску і поверхні 126a, 128a низького тиску. Поверхні високого тиску звужуються одна від одної у напрямку до ступінчатої камери 130/132 (радіально назовні у зображеному варіанті здійснення).

Як правило, тиск, що діє на протилежні поверхні 126a, 128a і поверхні 126b, 128b високого тиску, намагається розсунути ущільнювальні елементи 126, 128. Умови завантаження можуть спричинити деформацію ущільнювальних елементів 126, 128, що може змінювати зовнішній профіль ущільнювальних елементів, а отже і сил, що діють на їх поверхні. Таким чином, на коефіцієнти навантаження ступенів 120 ущільнення впливає тиск рідини поблизу ущільнювальних елементів, а також тиск рідини, що діє на обертальні вузли 142, і тиск на стаціонарні компоненти (наприклад, статор 128).

Під час роботи схильність ступенів 120 ущільнення до протікання може бути пов'язана з коефіцієнтом навантаження ступенів 120 ущільнення. Ущільнення можуть бути більш імовірно схильними до протікання при нижчих коефіцієнтах навантаження і менш імовірно схильними до протікання при вищих коефіцієнтах навантаження.

З іншого боку, швидкість, з якою зношуються ущільнювальні елементи, також може бути пов'язана із коефіцієнтом навантаження. Зокрема, ущільнення можуть швидше зношуватися при вищих коефіцієнтах навантаження. Ущільнювальний елемент 126 ротора і ущільнювальний

елемент 128 статора кожного ступеню 120 ущільнення рухаються один відносно одного та спричиняють зношування пропорційно коефіцієнту навантаження на ступені ущільнення.

Таким чином, ефективна конструкція ущільнення може бути обумовлена точним визначенням коефіцієнта навантаження. Занижений коефіцієнт навантаження ущільнення може призвести до конструкції, схильної до протікання. Завищений коефіцієнт навантаження ущільнення може призвести до конструкції, яка передчасно зношується. У багатоступінчатих конфігураціях ефективність і довговічність ущільнень на кожному ступені можуть залежати від падіння тиску на цьому ступені. У варіантах здійснення може бути бажаними збалансування падіння тиску і коефіцієнта навантаження на кожному ступені таким чином, щоб ущільнювальні елементи зношувалися рівномірно та забезпечували еквівалентні характеристики ущільнення. Так, наприклад, для ущільнень з двома ступенями, ступені мають тенденцію до рівномірного зношування, коли кожен ступінь відповідає за приблизно половину падіння тиску та ступені мають приблизно рівні коефіцієнти навантаження. І навпаки, якщо один ступінь відповідає за більше падіння тиску і має вищий коефіцієнт навантаження, цей ступінь може мати тенденцію до більш швидкого зношування і виходу з ладу, ніж інші ступені, в той час як інший ступінь може бути більш схильним до протікання.

Як правило, параметри ущільнення вибирають на основі статичного аналізу. Іншими словами, коефіцієнти тиску і коефіцієнти навантаження розраховуються на основі допущення незначного динамічного тиску.

Однак винахідники виявили, що ступені ущільнення попередніх конструкцій мають тенденцію до нерівномірного зношування і протікають більше, ніж очікувалося. Іншими словами, у випадку ступенів 120 ущільнення з єдиним ущільненням, які за прогнозами повинні були мати однакові коефіцієнти навантаження, спостерігалось нерівномірне зношування один відносно одного. Крім того, було виявлено, що деякі ступені 120 ущільнення працювали так, ніби їх коефіцієнти навантаження були нижчими, ніж очікувалось.

Винахідники виявили, що динамічні ефекти можуть бути значними в насосі 100. Зокрема, статичний тиск може змінюватися внаслідок динамічних ефектів у контурі ступінчатого потоку. Так, наприклад, тиск, прикладений на ступені 120-1 ущільнення, залежить від тиску рідини в критичній точці В на фіг. 3, а також швидкості рідини в точці В, такої як швидкість середньої лінії потоку рідини. Подібним чином, тиск, прикладений на ступені 120-2 ущільнення, залежить від тиску рідини в критичній точці С на фіг. 3, а також швидкості рідини в точці С, такої як швидкість ступеню ущільнення середньої лінії потоку рідини. Таким чином, коефіцієнт навантаження кожного ступеню 120 ущільнення може залежати від падіння тиску на ступені ущільнення, втрат тиску в каналі 134 ступінчатого потоку і статичного тиску, що діє на ущільнювальні елементи (що, в свою чергу, залежить від швидкості рідини). Як правило, високі швидкості рідини на стороні високого тиску ступеню 120 ущільнення зменшують силу, що діє на поверхні високого тиску 126b, 128b. Крім того, швидкість (а отже і тиск) на дні ступінчатої камери 130 (точка А на фіг. 3) відносно швидкості і тиску поблизу ступеню 120-1 ущільнення (точка В на фіг. 3) може впливати на коефіцієнт навантаження і ефективність ущільнення ступеню 120-1 ущільнення. Зокрема, менша швидкість і вищий тиск між роторним вузлом та статорним вузлом (точка В на фіг. 3) можуть мати тенденцію розсувати роторний вузол та статорний вузол, в той час як менша швидкість і вищий тиск на вході в ступінчасту камеру 130 (точка А на фіг. 3) можуть мати тенденцію притискати роторний вузол до статорного вузла.

Кожен з ущільнювальних елементів 126 ротора утворює частину обертального вузла 142. Потік рідини в камерах 130, 132 проходить через обертальні вузли 142 і прискорюється. Тому потік, що надходить у камеру 130, 132, має меншу швидкість і вищий статичний тиск, ніж потік, що виходить з камери 130, 132.

Хоча статичний аналіз врівноважує ступені 120-1, 120-2 ущільнення на основі очікуваних втрат у каналах 134, 138, зображена конструкція компенсує як втрати у каналах 134, 138, так і динамічні ефекти. Так, наприклад, на основі моделювання режиму потоку камери 130, 132 і проточні канали 134, 138 призначені для збалансування ефектів прискорення рідини на ступенях 120-1, 120-2. Зокрема, камери 130, 132 мають таку форму та опір потоку в каналах 134, 138 є таким, що рідина тече в постійному напрямку – переважно в напрямку, показаному стрілкою F на фіг. 3.

Коли рідина протікає через первинну ступінчасту камеру 130, вона перетинає шлях, що межує з обертальним вузлом 142 та цим самим прискорюється рухом обертального вузла 142 так, що середня швидкість збільшується. Коли рідина прискорюється, її динамічний тиск підвищується, а статичний тиск відповідно знижується. Таким чином, статичний тиск знижується між входом в ступінчасту камеру 130 (точка А на фіг. 3) та областю поблизу ступеню 120-1 ущільнення (точка В на фіг. 3). Подібним чином, коли рідина протікає через вторинну ступінчасту

камеру 132, вона прискорюється рухом обертального вузла 142 так, що швидкість збільшується, а статичний тиск знижується між виходом каналу 134 ступінчатого потоку і областю поблизу ступеню 120-2 ущільнення (точка С на фіг. 3).

Як стане очевидно, тангенціальна швидкість у будь-якій точці поверхні обертального вузла 142 залежить від швидкості обертання та радіуса від осі обертання. У представленому варіанті здійснення обертальні вузли 142 мають зовнішню циліндричну поверхню 143 при відносно великому радіусі. Під час роботи тангенціальна швидкість обертального вузла в точках циліндричної поверхні 143 є відносно високою, таким чином, циліндрична поверхня 143 спричиняє відносно значне прискорення оточуючої рідини. Отже, циліндричну поверхню 143 можна називати поверхнею прискорення.

В деяких варіантах здійснення камери 130, 132 і обертальні вузли 142 можуть бути виконані з можливістю контролю швидкості (і, таким чином, статичного тиску) рідини поблизу ступенів 120 ущільнення. Зокрема, рідина може прискорюватися, коли вона перетинає шлях, що межує з однією або кількома поверхнями 143 прискорення. Таким чином, камери 130, 132 можуть бути виконані з можливістю контролю накопичуваного прискорення за рахунок поверхонь 143, 146 прискорення. У деяких варіантах здійснення рідина поблизу ступенів 120-1, 120-2 ущільнення може бути прискорена до приблизно однакової швидкості. Іншими словами, швидкість рідини і динамічний тиск поблизу ступенів 120-1, 120-2 ущільнення можуть бути приблизно однаковими. Так, наприклад, камери 130, 132 можуть мати рівну площу поперечного перерізу поблизу ступенів 120-1, 120-2 ущільнення відповідно.

В деяких варіантах здійснення одна або декілька поверхонь 143, 146 прискорення містять поверхневі елементи, виконані з можливістю збільшення швидкості рідини. В деяких варіантах здійснення елементи утримують охолоджувальні потоки всередині та навколо обертального вузла. В деяких варіантах здійснення поверхневі елементи можуть містити клини, жолоби та/або будь-які інші придатні виступи, виїмки або інші поверхневі елементи. В деяких варіантах здійснення поверхневі елементи можуть містити обточені насічки та/або вікна. В деяких варіантах здійснення поверхні 143 прискорення містять вікна, а поверхні 146 прискорення містять обточені насічки.

В деяких варіантах здійснення одна або декілька поверхонь 143, 146 прискорення забезпечують рециркуляцію рідини для контролю температури поверхонь. В деяких варіантах здійснення одна або декілька поверхонь 143, 146 прискорення можуть додатково або альтернативно служити для створення бажаних швидкостей для збалансування сил.

В деяких варіантах здійснення довжина шляху потоку через камери 130, 132 та шляху, що межує з обертальними вузлами 142, може бути однаковою, так що рідина знаходиться в камерах 130, 132 протягом аналогічного періоду часу і, таким чином, швидкість її потоку збільшується до аналогічного значення за допомогою обертальних вузлів 142. Довжина шляху потоку може залежати від форм камер 130, 132 та обертальних вузлів 142, а також місця, в якому потік рідини входить у кожну відповідну камеру 130, 132.

В деяких варіантах здійснення швидкості, що повинні забезпечуватися одним або кількома компонентами, описаними в даному документі, базуються на абсолютних швидкостях та/або відносних швидкостях. Абсолютні швидкості можуть бути націлені на регулювання тиску, а відносні швидкості можуть бути націлені на регулювання теплопередачі.

У деяких сценаріях ступінчатий потік є параметром, який можна регулювати в нових конструкціях або установках. В інших сценаріях, таких як модернізація, параметри ступінчатого потоку можуть бути попередньо визначені системою на місці.

Як показано на фіг. 3, первинна ступінчатка камера 130 має впускний канал 145, через який рідина втягується з камери 118 у камеру 130. Впускний канал 145 проходить, як правило, радіально через блочну структуру 150. Частина рідини, витягнута через канал 145, тече, як правило, у напрямку, позначеному стрілкою F, до ступеню 120-1 ущільнення. Частина рідини, витягнута через канал 145, може відводитися, як правило, у зворотному напрямку потоку, позначеному стрілкою R, через горловину 148 камери, що лежить в осьовій площині. У деяких варіантах здійснення це може приводитися в дію допоміжною крильчаткою.

Як показано, впускний канал 145 розміщений в осьовому положенні між горловиною 148 ступінчатої камери і поверхнею 143 прискорення. Прискорення, якому піддають рідину, що тече у напрямку до ступеню 120-1 ущільнення, може залежати від положення каналу 145. Так, наприклад, якщо канал 145 був переміщений у напрямку F відносно зображеного положення, прискорення рідини за допомогою обертального вузла 142 може бути зменшене, якщо рідина пройшла більш короткий шлях, що межує з поверхнею 143 прискорення. І навпаки, якщо канал 145 був переміщений у напрямку R, може бути відведено більше рідини, як правило, в напрямку

R, та прискорення рідини, що тече в напрямку до ступеню 120-1 ущільнення, може бути збільшене.

Контур 117 ступінчатого потоку сконфігурований таким чином, що ступені 120-1, 120-2 ущільнення мають приблизно бажаний коефіцієнт навантаження під час роботи. Іншими словами, режим потоку і тиску в ступінчатих камерах 130, 132 викликає механічне навантаження ступенів 120-1, 120-2 ущільнення до досягнення їх бажаного коефіцієнта навантаження. На режими потоку і тиску, в свою чергу, впливає розміщення впускного каналу 145. Так, наприклад, розміщення впускного каналу 145 впливає на профіль статичного тиску в первинній ступінчатій камері 130. Найближча горловина 148 високого тиску штовхає обертальний вузол 142 в напрямку блочної структури 150 з метою збільшення коефіцієнта навантаження ступеню ущільнення. І навпаки, найближча горловина 148 більш низького тиску діє на обертальний вузол 142 з меншою силою. В деяких варіантах здійснення за рахунок збалансування динамічного тиску разом із втратами в каналах 134, 138 аналогічним чином вдається збалансувати навантаження ущільнювальних елементів. Іншими словами, розрахунок як витрат, так і динамічних ефектів забезпечує постійний коефіцієнт навантаження ступенів 120-1, 120-2 ущільнення. Продуктивність і довговічність ступенів ущільнення також збалансовані аналогічним чином. Отже, ступені 120-1, 120-2 ущільнення зношуються з однаковою швидкістю, їх можна обслуговувати або замінити з однаковим інтервалом обслуговування. І навпаки, нерівномірне зношування між ступенями 120-1, 120-2 ущільнення може призвести до передчасного виходу з ладу або може вимагати заміни ступеню 120 ущільнення з меншим інтервалом. В деяких сценаріях при заміні одного ступеню замінують обидва ступені, тому нерівномірне зношування може призвести до заміни менш зношеного ущільнення до того, як воно буде використане у повному обсязі.

Фіг. 2а-2с, 3 і 4 являють собою вигляд у поперечному перерізі ущільнювального вузла 116. Для простоти деякі компоненти ущільнювального вузла 116 схематично зображені в площинній орієнтації. Однак, як стане очевидно, такі структури можуть бути розміщені радіально, наприклад, у нормальному або скошеному напрямку відносно площини зображеного поперечного перерізу. Аналогічно, шляхи потоку, зображені такими, що лежать в одній площині, на фіг. 2а-2с, 3 і 4 можуть оточувати радіус ущільнювального вузла 116. Так, наприклад, ступінчаті камери 130, 132, гідравлічні камери 147, 149 і ресивер 136 можуть бути, як правило, кільцевими. Додатково або альтернативно, конструкції, показані як площинні, та описані як одиничні, можуть, наприклад, являти собою серію радіально розміщених каналів з різною кутовою орієнтацією. Так, наприклад, канал 145 може проходити радіально. При цьому може бути присутній один єдиний канал 145 або багато каналів 145, розміщених з різними інтервалами навколо ущільнювального вузла 116.

Під час роботи насоса 100 температури в ущільнювальному вузлі 116 можуть підвищуватися, викликаючи розширення компонентів. Швидкість та напрямок розширення можуть залежати від таких факторів, як форма деталі і властивості матеріалу.

Диференціальне розширення компонентів може спричинити зміни в геометрії ущільнення. Такі зміни можуть призвести до збільшення проміжку або зниження тиску між ущільнювальними елементами 126, 128 і у такий спосіб зменшити стійкість або ефективність ущільнення ступеню 120 ущільнення.

Таким чином, для забезпечення необхідних характеристик ущільнення і керування зношуванням компонентів компоненти ущільнювального вузла 116 можуть бути виконані з можливістю забезпечення або підтримання стабільності розмірів ступенів 120-1, 120-2 ущільнення і їх відповідних ущільнювальних елементів 126, 128 у типовому діапазоні температур, які можуть виникати при нормальній роботі насоса 100. В деяких прикладах під час нормальної роботи компоненти ущільнювального вузла 116 зазвичай можуть піддаватися впливу температур від приблизно 90 °F до 200 °F. Ущільнювальні компоненти можуть бути виконані з такого матеріалу, як карбід кремнію або карбід титану, з відносно низьким коефіцієнтом теплового розширення в очікуваному діапазоні робочих температур. Як стане очевидно, робочі температури можуть змінюватися залежно від конструкції реактора, вибір матеріалу може також змінюватися. Придатними матеріалами є ті, що забезпечують належні характеристики ущільнення і зносостійкість при достатньо низькому тепловому розширенні, так що характеристики ущільнення не надто погіршуються при нормальних робочих температурах. Так, наприклад, якщо ущільнювальні елементи 126, 128 виконані з можливістю саморозвантаження, геометричні параметри деталі і матеріали можуть бути вибрані таким чином, щоб здатність до саморозвантаження зберігалась в нормальному діапазоні робочих температур.

В деяких варіантах здійснення один або обидва ущільнювальних елементи 126, 128 можуть бути обмежені одним або кількома кільцями 160 контролю розширення. Кільця 160 контролю розширення можуть бути високоміцними металевими компонентами, встановленими навколо ущільнювальних елементів 126 або 128. Кільця 160 контролю розширення можуть мати номінальний внутрішній діаметр, що забезпечує радіальне обмеження ущільнювальних елементів 126, 128, навколо яких вони встановлені. Кільця 160 контролю розширення можуть бути виконані з матеріалу з низьким коефіцієнтом розширення при нормальних робочих температурах насоса 100. При таких температурах кільця 160 контролю розширення створюють механічний опір тепловому розширенню ущільнювальних елементів 126, 128, так що форми ущільнювальних елементів 126, 128 зберігаються незмінними. Так, наприклад, у представленому варіанті здійснення ущільнювальні елементи 126, 128 незначним чином звужуються у напрямку один від одного у радіально найбільш віддаленій від центра частині їх поверхні. Тиск, що діє на конічні частини ущільнювальних елементів, має тенденцію розсувати ущільнювальні елементи один від одного. Таким чином, форма ущільнювальних елементів може проявляти здатність до саморозвантаження.

В деяких варіантах здійснення при підвищенні температури ущільнювальні поверхні виконані з можливістю вигину, так що вони більше відкриваються і допускають більший витік рідини. Цей витік служить для охолодження поверхонь, що труться, зменшуючи у такий спосіб шум, що проходить через ущільнювальні деталі.

Певні умови експлуатації установки для виробництва ядерної енергії можуть призвести до втрати охолоджувальної рідини. В таких випадках робота насоса 100 охолоджувальної рідини може припинитися. Температура рідини в насосі 100 може різко підвищитися і значно перевищити нормальний діапазон робочих температур. В таких випадках з міркувань безпеки і відповідно до нормативних вимог може знадобитися захист від протікання. В деяких прикладах температури рідини в межах або вище 500 °F можуть спостерігатися у випадку втрати охолоджувальної рідини, наприклад, при відключенні електроенергії. Кільця 160 контролю розширення можуть мати вищий коефіцієнт теплового розширення, ніж ущільнювальні елементи 126 і обертальні вузли 142. Таким чином, по мірі збільшення температури проміжок між ущільнювальними елементами 126 і кільцями 160 контролю розширення може збільшуватися. Альтернативно, кільця 160 контролю розширення можуть бути сконфігуровані таким чином, щоб мати підвищений коефіцієнт теплового розширення вище порогової температури в діапазоні, очікуваному під час втрати охолоджувальної рідини, і вище нормальних робочих температур. У випадку втрат потоку охолоджувальної рідини кільця 160 контролю розширення розширюються, створюючи проміжок між ущільнювальними елементами 126 і кільцями 160 контролю розширення. Це, в свою чергу, дозволяє ущільнювальним елементам 126, 128 розширюватися один в одного. Розширення ущільнювальних елементів 126, 128 може бути достатнім для усунення протікання через ступені 120 ущільнення. Подальше підвищення температури може зміцнити ущільнення, змушуючи ущільнювальні елементи 126, 128 продовжувати розширюватися разом.

В деяких варіантах здійснення матеріали для цих компонентів вибирають на основі їх властивостей. В деяких сценаріях вибір різних матеріалів може дозволити вибіркове роз'єднання кілець, так що за межами заданого порогового значення відбувається зміна загальної поведінки обертального вузла.

У представленому варіанті здійснення кільця 160 контролю розширення, встановлені навколо конкретного ущільнювального елемента 126, можуть бути виконані з різних матеріалів з різним коефіцієнтом теплового розширення. Так, наприклад, одне кільце 160 може бути виготовлене зі сталі Nitronic 50, а інше кільце – із нержавіючої сталі. Різний коефіцієнт розширення кілець 160 контролю розширення може призвести до від'єднання одного кільця 160 від ущільнювального елемента 126 раніше іншого кільця 160. Це, в свою чергу, може спричинити деформацію ущільнювального елемента 126 при його розширенні при температурі, вищій, ніж нормальна робоча температура. Так, наприклад, ущільнювальний елемент 126 може вигинатися в напрямку ущільнювального елемента 128 таким чином, що будь-яка здатність до саморозвантаження зникає.

В інших варіантах здійснення кільця 160 контролю розширення можуть бути виконані з однакового матеріалу, однак, можуть мати розмір для різного номінального проміжку (або взаємодії) з ущільнювальним елементом 126. В таких конструкціях одне кільце 160 контролю розширення може розширюватися, не контактуючи з ущільнювальним елементом 126, перед іншим кільцем. Альтернативно або додатково, ущільнювальний елемент 126 може мати таку форму, щоб його діаметр змінювався, а номінальні внутрішні діаметри кілець 160 контролю розширення були різними. В такий конфігурації рівновідсоткова зміна кілець 160 контролю

розширення може відповідати більшій абсолютній зміні діаметра більшого з двох кілець. Відповідно, кільця 160 контролю розширення можуть мати розмір для однакового номінального проміжку або взаємодії з ущільнювальним елементом 126 і можуть бути виконані з однакового матеріалу, але більше кільце може вивільняти ущільнювальний елемент 126 при більш низькій температурі, ніж менше кільце.

В деяких варіантах здійснення геометрія ущільнювальних елементів 126, 128 може бути такою, що може бути використано одне кільце контролю розширення, або такою, що може бути використано декілька кілець, виконаних з можливістю вивільнення ущільнювального елемента 126 при однаковій температурі. Зокрема, ущільнювальні елементи 126, 128 можуть бути виконані, а розширення обмежене таким чином, що при нормальних робочих температурах ущільнювальні елементи 126, 128 допускають незначний витік, саморозвантажуються при тепловому розширенні або і те, і інше, в той час як при температурах вище нормального діапазону робочих температур одне або декілька кілець 160 контролю розширення розмикаються, дозволяючи ущільнювальному елементу 126 розширюватися в напрямку ущільнювального елемента 128 і у таким спосіб зменшувати або усувати протікання або здатність до саморозвантаження.

Таким чином, ущільнювальний вузол 116 забезпечує надійний захист від протікання. Однак, оскільки компоненти мають відносно низькі коефіцієнти розширення, коефіцієнт навантаження ущільнення під час нормальної роботи суттєво не змінюється, як не змінюється і швидкість зносу або характеристики ущільнення в нормальних умовах експлуатації.

Як описано вище, потік рідини входить у кожну відповідну камеру із первинної ступінчатої камери 130 і вторинної ступінчатої камери 132 на вхідному кінці, в той час як ступені 120-1, 120-2 ущільнення розміщені поблизу вихідних кінців ступінчатої камери 130, 132. Потік рідини проходить через камеру 130 або камеру 132 до досягнення відповідного ступеню 120 ущільнення і прискорюється під час такого проходження. Ефекти прискорення, тобто понижений статичний тиск, збалансовуються між ступенями. Крім того, швидкість прискорення і, таким чином, зміну статичного тиску на ступенях 120 ущільнення можна контролювати, змінюючи довжину шляху потоку рідини поряд із поверхнею 143, 146 прискорення. Як описано в даному документі, в деяких варіантах здійснення це також контролюється формою камер 130, 132 і характеристиками поверхонь 143, 146.

Хоча варіанти здійснення описані детально, слід розуміти, що в даному документі можуть бути використані різні зміни, заміни і варіанти.

Більше того, обсяг правової охорони даної заявки не обмежується конкретними варіантами здійснення способу, установки, виробництва, композиції речовин, засобів, методів і етапів, представленими у описі. Фахівцю в даній області техніки із опису даного винаходу стане очевидним, що можуть бути використані способи, установки, виробництво, композиції речовин, засоби, методи або етапи, що існують у даний час або будуть розроблені пізніше, які виконують по суті однакову функцію або досягають практично такого ж результату, що і відповідні варіанти здійснення, описані в даному документі. Таким чином, додана формула винаходу повинна включати в свій обсяг охорони такі способи, установки, виробництво, композиції речовин, засоби, методи або етапи.

Як можна зрозуміти, детальні варіанти здійснення, описані вище і проілюстровані, наведені лише як приклади. Винахід визначається доданою формулою винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Насос (100) охолоджувальної рідини для установки для виробництва ядерної енергії, який містить:

корпус (102), що містить сальникову коробку (113);

ущільнювальний вузол (116), що містить канал ступінчатого потоку, який визначає першу та другу камери (130, 132) ущільнення;

роторний вузол (142), що прокачує охолоджувальну рідину через сальникову коробку, причому роторний вузол містить щонайменше одну поверхню (143, 146) прискорення, де рідина, що проходить по каналу ступінчатого потоку, прискорюється щонайменше однією зазначеною поверхнею прискорення;

перший і другий ступені (120-1, 120-2) ущільнення в зазначеній першій і другій камерах (130, 132) ущільнення, кожна з яких містить ущільнювальний елемент (128) статора й ущільнювальний елемент (126) ротора, причому зазначений ущільнювальний елемент статора і зазначений ущільнювальний елемент ротора виконані з можливістю притиснення один до одного з метою утворення ущільнення на ущільнювальному інтерфейсі, визначеному між

зазначеним ущільнювальним елементом статора і зазначеним ущільнювальним елементом ротора;

впускний канал для подачі охолоджувальної рідини у зазначений канал ступінчатого потоку і повз зазначену щонайменше одну поверхню (143, 146) прискорення;

5 причому зазначений ущільнювальний елемент статора і зазначений ущільнювальний елемент ротора виконані з можливістю теплового розширення;

причому перше і друге кільця (160-1, 160-2) контролю розширення обмежують розширення зазначеного ущільнювального елемента ротора, і причому зазначене перше і друге кільця контролю розширення виконані з можливістю обмеження розширення зазначеного

10 ущільнювального елемента ротора нижче порогової температури,

причому зазначене перше кільце (160-1) контролю розширення виконане з можливістю розширення, не контактуючи із зазначеним ущільнювальним елементом ротора за нижчої температури, ніж зазначене друге кільце (160-2) контролю розширення.

15 2. Насос охолоджувальної рідини за п. 1, який **відрізняється** тим, що зазначені перша і друга камери ущільнення визначають відповідні шляхи потоку, що межують з компонентами зазначеного роторного вузла (142), та в якому зазначені шляхи потоку мають однакову довжину.

3. Насос охолоджувальної рідини за п. 2, який **відрізняється** тим, що містить роторний вузол (142), розміщений в кожній із зазначених першій і другій камерах ущільнення, відповідно, причому кожен зазначений роторний вузол (142) містить щонайменше одну поверхню

20 прискорення.

4. Насос охолоджувальної рідини за п. 3, який **відрізняється** тим, що кожен зазначений роторний вузол (142) містить множину поверхонь прискорення з множиною поверхневих елементів, виконаних з можливістю збільшення швидкості рідини.

5. Насос охолоджувальної рідини за будь-яким із пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що зазначений впускний канал розміщений радіально.

25 6. Насос охолоджувальної рідини за будь-яким із пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що зазначений канал ступінчатого потоку розміщений в осьовому напрямку паралельно осі привідного вала зазначеного насоса.

7. Насос охолоджувальної рідини за п. 1, який **відрізняється** тим, що порогова температура є вищою, ніж діапазон робочих температур.

8. Насос охолоджувальної рідини за будь-яким із пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що зазначені перша і друга камери ущільнення мають відповідну геометрію з метою контролю швидкості рідини або динамічного тиску поблизу їх відповідних ступенів ущільнення.

9. Спосіб ущільнення насоса в установці для виробництва ядерної енергії, причому спосіб включає етапи, на яких:

35 направляють рідину під тиском через першу секцію каналу (117) ступінчатого потоку в напрямку до першого ущільнення;

збільшують кутову швидкість рідини під тиском, коли вона протікає через зазначений канал ступінчатого потоку шляхом руху роторного вузла (142) зазначеного насоса;

40 направляють рідину під тиском через другу секцію зазначеного каналу ступінчатого потоку в напрямку до другого ущільнення, причому кожне з першого і другого ущільнень містить ущільнювальний елемент статора й ущільнювальний елемент ротора, причому зазначений ущільнювальний елемент ротора містить перше і друге кільця (160-1, 160-2) контролю

45 розширення, що обмежує розширення зазначеного ущільнювального елемента ротора, причому зазначене перше кільце (160-1) контролю розширення виконане з можливістю розширення, не контактуючи із зазначеним ущільнювальним елементом ротора за нижчої температури, ніж зазначене друге кільце (160-2) контролю розширення,

обмежують теплове розширення зазначеного ущільнювального елемента ротора нижче порогової температури за допомогою першого і другого кілець контролю розширення;

50 від'єднують перше кільце контролю розширення від зазначеного ущільнювального елемента ротора перед другим кільцем контролю розширення у відповідь на підвищення температури рідини вище зазначеної порогової температури через взаємно різні коефіцієнти розширення першого і другого кілець контролю розширення.

10. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що зазначене збільшення зазначеної швидкості включає направлення зазначеної рідини під тиском на щонайменше одну поверхню (143, 146) прискорення зазначеного роторного вузла (142).

11. Спосіб за п. 10, який **відрізняється** тим, що включає збільшення зазначеної кутової швидкості у зазначеній другій секції зазначеного каналу ступінчатого потоку шляхом направлення зазначеної рідини під тиском на щонайменше одну зазначену поверхню

60 прискорення зазначеного роторного вузла (142).

12. Спосіб за будь-яким із пп. 9-10, який **відрізняється** тим, що зазначений канал ступінчатого потоку розміщений, в основному, в осьовому напрямку паралельно осі привідного вала (108) зазначеного насоса.
13. Спосіб за будь-яким із пп. 9-11, який **відрізняється** тим, що включає направлення
5 зазначеної рідини під тиском у зазначений канал ступінчатого потоку через радіально розміщений впускний канал (145).
14. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що зазначена порогова температура є вищою, ніж діапазон робочих температур.
15. Спосіб за будь-яким із пп. 9-14, який **відрізняється** тим, що включає направлення рідини під
10 тиском через третю секцію зазначеного каналу ступінчатого потоку в напрямку до третього ущільнення.
16. Ущільнювальний вузол (116) насоса (100) для установки для виробництва ядерної енергії, який містить:
сальникову коробку (113) для кріплення до корпусу (102) насоса;
15 канал ступінчатого потоку у сальниковій коробці сальника, що визначає першу і другу камери (130, 132) ущільнення;
роторний вузол (142), що прокачує охолоджувальну рідину через сальникову коробку, причому роторний вузол містить щонайменше одну поверхню прискорення, де рідина, що проходить по каналу ступінчатого потоку, прискорюється щонайменше однією зазначеною поверхнею (143,
20 146) прискорення; і
перший і другий ступені (120-1, 120-2) ущільнення в першій і другій камерах (130, 132) ущільнення, кожна з яких містить ущільнювальний елемент (128) статора й ущільнювальний елемент (126) ротора, причому зазначений ущільнювальний елемент статора і зазначений ущільнювальний елемент ротора виконані з можливістю притиснення один до одного з метою
25 утворення ущільнення на ущільнювальному інтерфейсі, визначеному між зазначеним ущільнювальним елементом статора і зазначеним ущільнювальним елементом ротора;
впускний канал (145) для подачі охолоджувальної рідини у зазначений канал ступінчатого потоку і повз зазначену щонайменше одну поверхню (143, 146) прискорення,
причому зазначений ущільнювальний елемент статора і зазначений ущільнювальний елемент
30 ротора виконані з можливістю теплового розширення;
причому перше і друге кільця контролю розширення обмежують розширення зазначеного ущільнювального елемента ротора, і причому зазначене перше і друге кільця контролю розширення виконані з можливістю обмеження розширення зазначеного ущільнювального елемента ротора нижче порогової температури,
35 причому зазначене перше кільце контролю розширення виконане з можливістю розширення, не контактуючи із зазначеним ущільнювальним елементом ротора за нижчої температури, ніж зазначене друге кільце контролю розширення.
17. Ущільнювальний вузол (116) за п. 16, який **відрізняється** тим, що зазначені перша і друга камери (130, 132) ущільнення визначають відповідні шляхи потоку, що межують з компонентами
40 зазначеного роторного вузла (142), та в якому зазначені шляхи потоку мають однакову довжину.
18. Ущільнювальний вузол (116) за п. 17, який **відрізняється** тим, що містить зазначений роторний вузол (142), розміщений в кожній із зазначених першій і другій камерах (130, 132) ущільнення, відповідно, причому кожен зазначений роторний вузол містить щонайменше одну поверхню (143, 146) прискорення.
19. Ущільнювальний вузол (116) за п. 18, який **відрізняється** тим, що кожен зазначений роторний вузол (142) містить множину поверхонь (143, 146) прискорення з множиною поверхневих елементів, виконаних з можливістю збільшення швидкості рідини.
20. Ущільнювальний вузол (116) за будь-яким із пп. 16-19, який **відрізняється** тим, що зазначений впускний канал (145) розміщений радіально.
21. Ущільнювальний вузол (116) за будь-яким із пп. 16-20, який **відрізняється** тим, що зазначений канал ступінчатого потоку розміщений в осьовому напрямку паралельно осі привідного вала зазначеного насоса (100).
22. Ущільнювальний вузол (116) за п. 16, який **відрізняється** тим, що порогова температура є вищою, ніж діапазон робочих температур.
23. Ущільнювальний вузол (116) за будь-яким із пп. 16-22, який **відрізняється** тим, що зазначені перша і друга камери (130, 132) ущільнення мають відповідну геометрію з метою контролю швидкості рідини або динамічного тиску поблизу їх зазначених ступенів (120-1, 120-2) ущільнення.

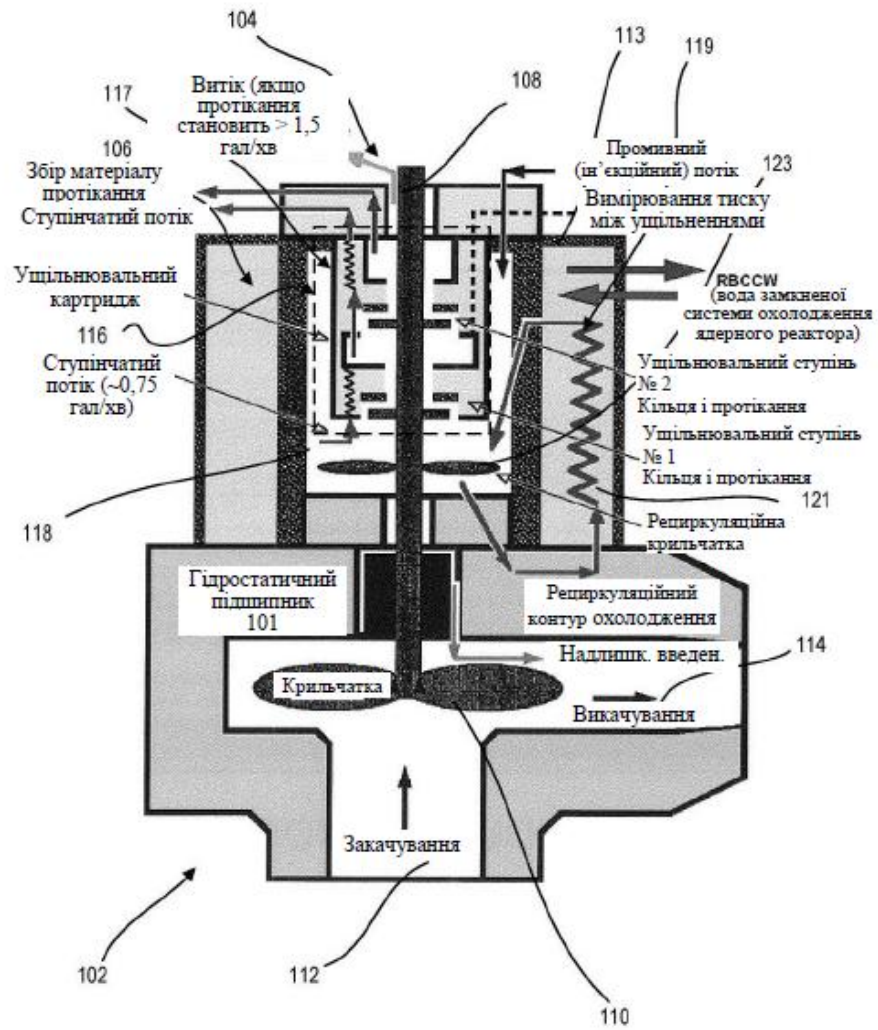


Fig. 1

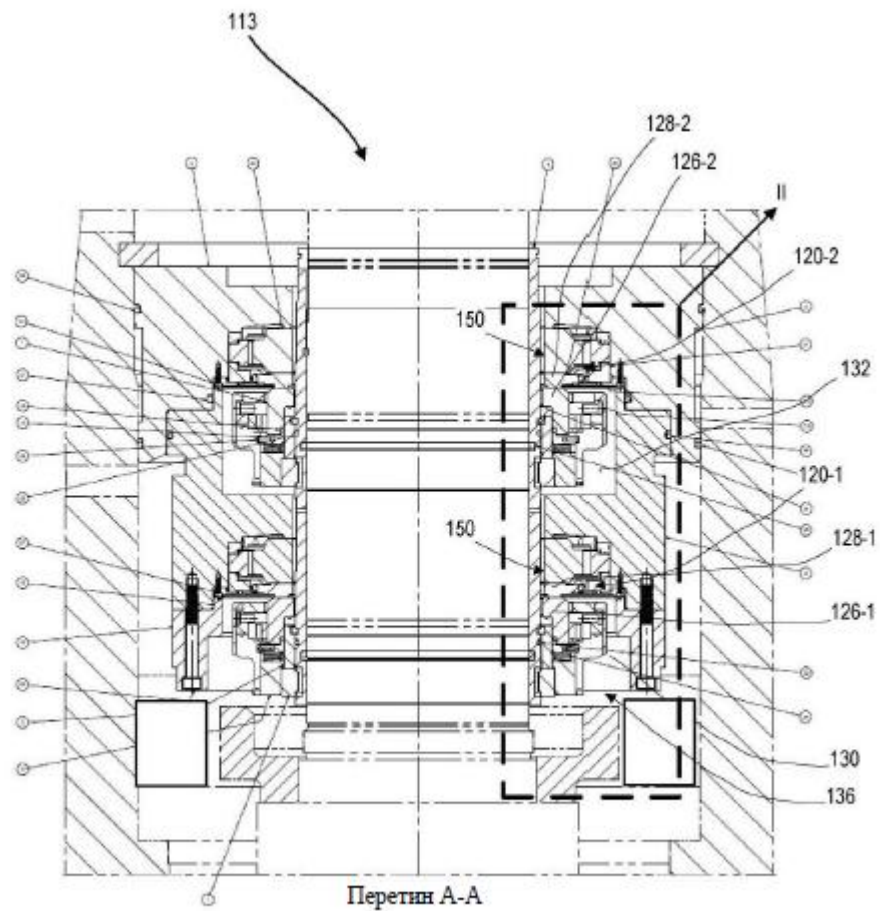


Fig. 2A

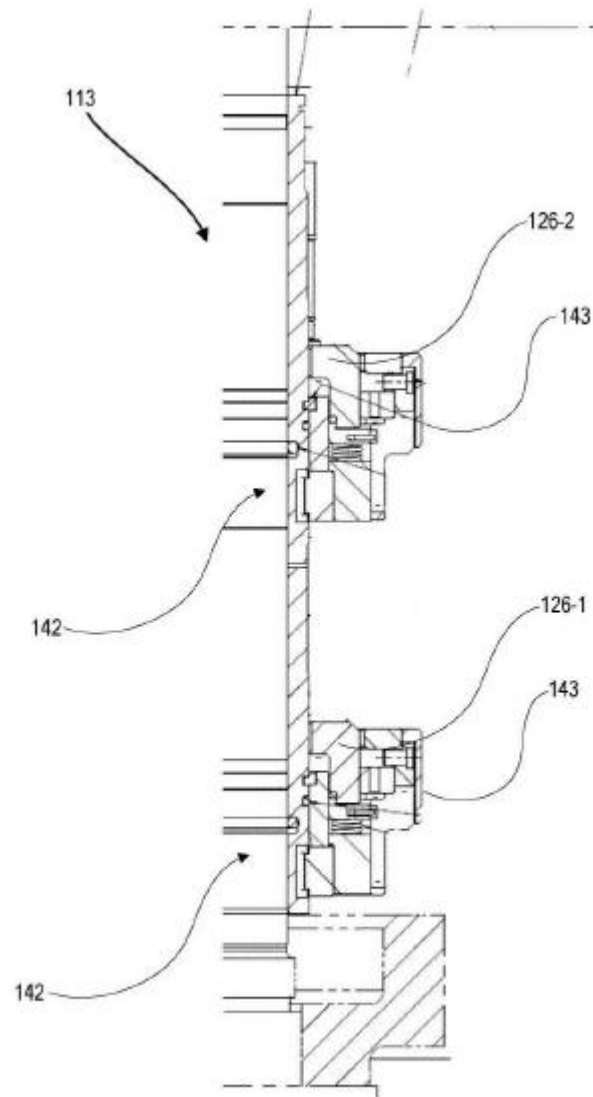


Fig. 2B

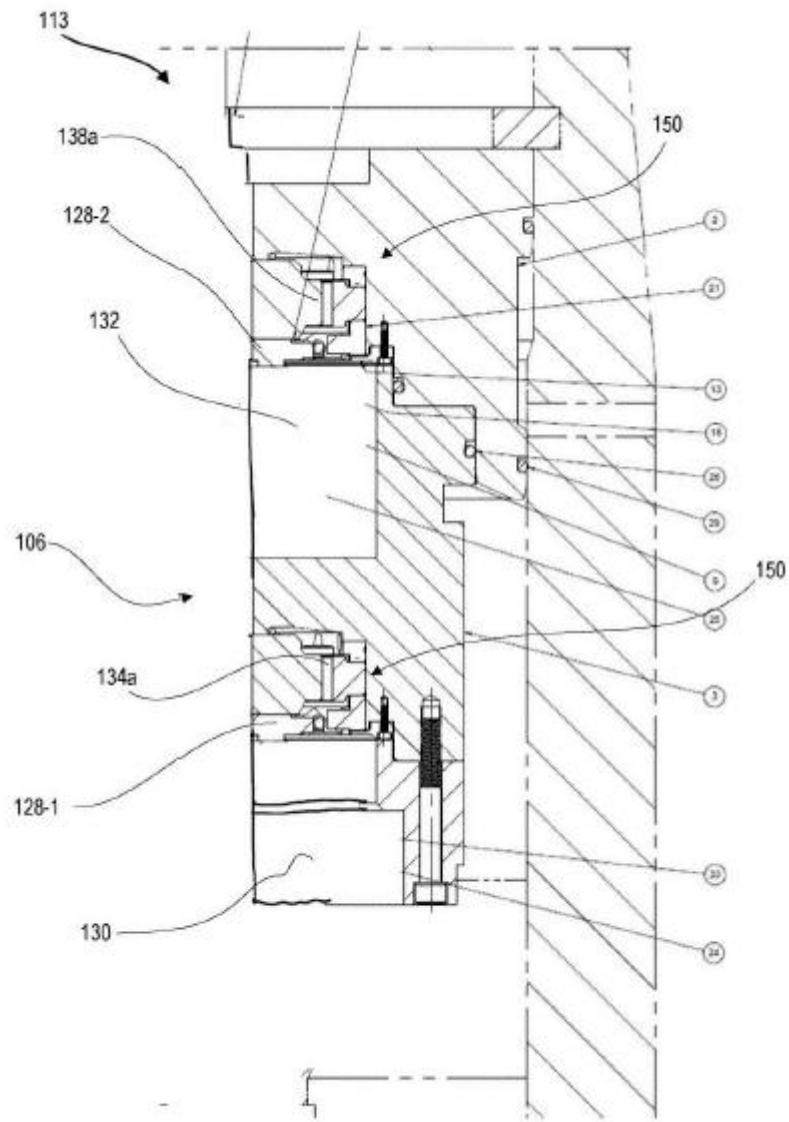


Fig. 2C

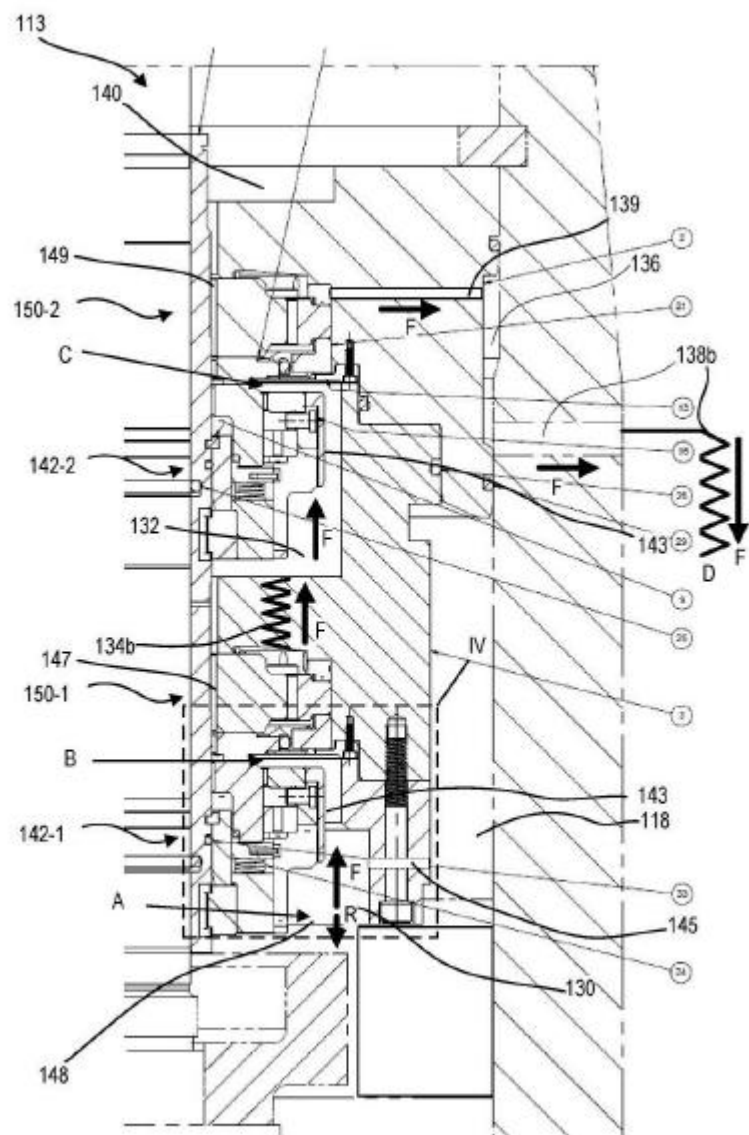


Fig. 3

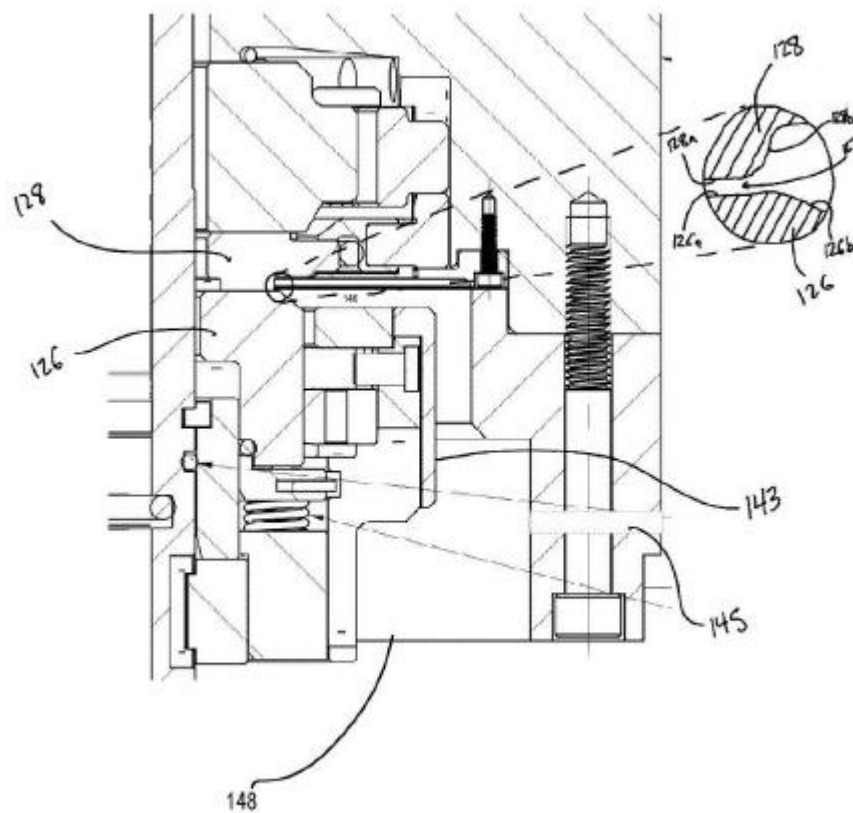


Fig. 4