



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103949** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
B03C 1/025 (2006.01)
F25B 29/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

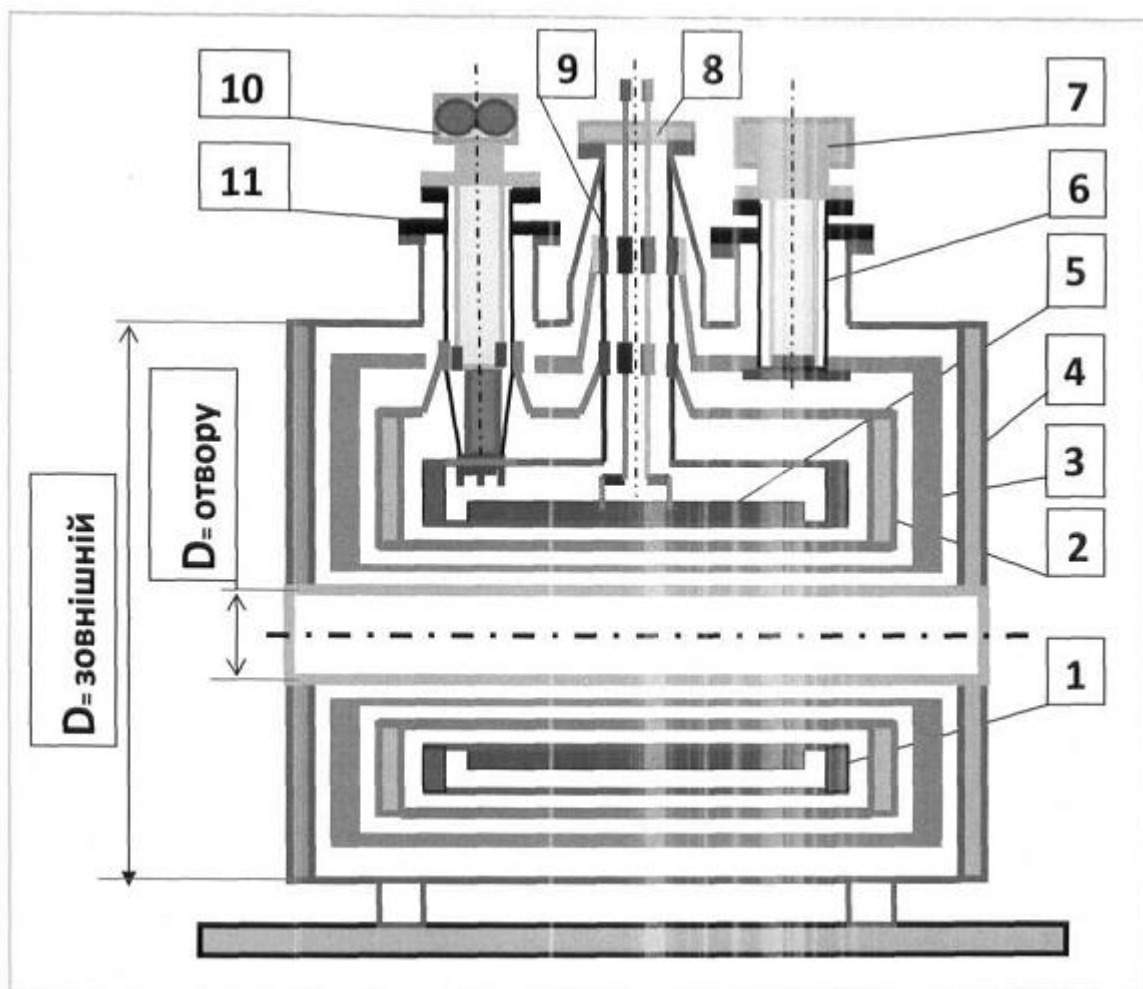
(21) Номер заявки: а 2012 04765	(72) Винахідник(и): Демішев Анатолій Гаврилович (UA)
(22) Дата подання заявки: 17.04.2012	(73) Власник(и): Демішев Анатолій Гаврилович, пр. Миру, 5, кв. 26, м. Донецьк, 83050 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.12.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: LEITNER M. A., LEITNER D., ABBOTT S. R., C. TAYLOR C. E., LYNEIS C. M. Progress report on VENUS / LBNL, Berkeley, CA, USA .[2004-10-16] Знайдено в Internet. <URL: http://ecrgroup.lbl.gov/papers_pdf/LBNL-51452.pdf > WO 2006092558 A1; 08.09.2006 WO 2007057709 A1; 24.05.2007 US 7318318 B2; 15.01.2008 CN 101195108 A; 11.06.2008 CN 201135923 Y; 22.10.2008 US 4986077 A; 22.01.1991 JP 2006343075 A; 21.12.2006 GB 2395545 A; 26.05.2004 SU 1715428 A1; 29.02.1992
(41) Публікація відомостей про заявку: 11.03.2013, Бюл.№ 5	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.12.2013, Бюл.№ 23	

(54) СИСТЕМА КРІОГЕННОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА БАЗІ КРІОРЕФРИЖЕРАТОРІВ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛУ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО БАГАТОТОННАЖНОГО КРІОМАГНІТНОГО КОМПЛЕКСУ

(57) Реферат:

Винахід належить до систем кріогенного забезпечення, призначених для створення великогабаритних багатотоннажних кріомагнітних комплексів, працюючих безперервно в автоматичному режимі, і може бути використаний зокрема для наукових досліджень, а також у виробничих умовах збагачувальних виробництв для високоградієнтної магнітної сепарації слабкомагнітних руд, каолінів та інших корисних копалин та вугілля безпосередньо в умовах теплових електростанцій. Система кріогенного забезпечення на базі кріорефрижераторів замкнутого циклу великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу складається з гелієвого кріостата з системою екранів і опор, вузлів введення модулів кріорефрижераторів, вводитів струму живлення соленоїда та пристроїв індикації, управління і захисту, реконденсатора парів гелію в ємності, вмонтованого надпровідного соленоїда та двох кріорефрижераторів, забезпечуючих роботу комплексу в автоматичному режимі. Радіаційні екрани виконують функції захисту від теплоприпливу випромінюванням, холодопроводів та, завдяки узгодженій з опорами конструкції і взаємного кріплення їх, також стійкості і жорсткості всієї конструкції. Виконання вузлів введення у вигляді герметичних функціональних модулів забезпечує можливість попереднього відпрацювання їх параметрів та простоту збірки комплексу і регламентні роботи у виробничих умовах.

UA 103949 C2



Фігура 1

Запропонована система кріогенного забезпечення призначена для створення великогабаритних багатоннажних кріомагнітних комплексів, працюючих безперервно в автоматичному режимі, зокрема для наукових досліджень, а також у виробничих умовах збагачувальних виробництв для високоградієнтної магнітної сепарації слабкомагнітних руд, каолінів та інших корисних копалин та вугілля безпосередньо в умовах теплових електростанцій.

У попередні роки, в процесі бурхливого розвитку фізики низьких температур і кріогенної техніки, фактично сформувалася нова наукоємна високотехнологічна кріогенна галузь. Провідними інститутами і фірмами створені науково-технічні школи, якими розроблено і створено незліченну кількість різноманітних конструкцій гелієвих наливних кріостатів і кріогенних установок на їх основі. Наступним кроком у цьому розвитку стала розробка та освоєння промислового виробництва кріогенних рефрижераторів замкнутого циклу / далі - КРЖ-3Ц /. В даний час вже близько десяти фірм освоїли виробництво високонадійних КРЖ-3Ц всіляких модифікацій, що забезпечують надійну роботу в безперервному автоматичному режимі близько року і більше і пропонують їх на комерційному ринку. Це - азотні і гелієві лабораторні мінізріджувачі; КРЖ-3Ц на азотний рівень температур, призначені для термостатування екранів кріостатів; двоступінчасті КРЖ-3Ц на температурний рівень першого ступеня 40-50 К і другого ступеня 10-20 К, призначені як для термостатування екранів, так і безпосередньо експериментальних пристроїв; двоступінчасті КРЖ-3Ц - реконденсатори, призначені для реконденсації парів гелію безпосередньо в гелієвій ємності кріостата, при цьому перший ступінь холодоспроможністю близько 35-50 Вт при 45-50 К цілком може паралельно використовуватися для компенсації теплоприпливів до екрана і по опорах.

Практично всі створені конструкції кріогенних установок і кріомагнітних комплексів / далі - комплекс КМК / побудовані на базі кріостата з вбудованим холодостворюючим модулем КРЖ-3Ц і окремо розташованим компресором і блоком управління його. Найбільш поширений тип таких установок побудований на базі холодоутворюючого модуля КРЖ-3Ц, встановленого на знімному фланці у горловині кріостата. Це забезпечує відносну простоту всієї конструкції і оперативність зміни експериментальних зразків, а так само і профілактики самого холодоутворюючого модуля. Однак такого типу конструкція може бути реалізована тільки на відносно невеликих кріостатних установках, в яких теплоприпливи на обидва ступеня КРЖ-3Ц не перевищують їх холодоспроможність.

Відомо ряд публікацій і проспектів фірм, які вирішили такого роду складні науково-технічні і конструкторські проблеми. Це роботи цілого ряду фірм з так званої технології Cryogen Free по кріосистемах для наукових досліджень -Oxford Instruments, American Cryomagnetics Inc, LEYBOLD-HERAEUS GMBH, LAIR LIQUIDE, VARIAN, PHILIPS, Advanced Research Systems, Inc. та інші. Також розробки по кріосепараторах для промислового призначення - це кріофільтри фірм Carpro - моделі 57/460 продуктивністю 25-50т/ год., Outotec-Cryofilter superconducting magnetic separator, кріофільтр HGMS для обробки каоліну у Бразилії, Outokumpu 5T Cryofilter Models-Industrial 5T \ 360,500,1000 та інші. Однак в них взагалі суть рішень по системі кріогенного забезпечення / СКЗ / показано дуже умовно і не описано. Так на декількох схемах конструкції кріомагнітного сепаратора фірми Outokumpu Technology, Inc-5Tesla Cryofilter Technology, Carpro Cryofilter, 3AT Мінерал Процес, а також у 2002.05.09 MagSepMar2000 видно, що система кріогенного забезпечення побудована, в тому числі, на базі КРЖ-3Ц. І не більше того.

Як аналог доцільно розглянути схему конструкції системи кріогенного забезпечення кріомагнітного сепаратора фірми Outokumpu Technology Inc, Physical Separation Division 6100 Phillips Highway, Jacksonville, FL3221. USA. Соленоїд надпровідної магнітної системи розташовано в ємності, залитій зрідженим гелієм. Екрани, що призначені для захисту гелієвої ємності від надмірного теплоприпливу випромінюванням, термостатуються за допомогою КРЖ-3Ц. Та власне конструкція показана зовсім умовно, що не дає можливості судити про її переваги і недоліки.

Як найближчий аналог прийнято роботу "PROGRESS REPORT ON VENUS" M.A. Leiter, D.L. Leiter, S.R. Abbot, C.E. Taylor, C.M. Lyneis, LBNL. Berkley, CA, USA.

Конструкція системи кріогенного забезпечення установки іонного джерела для електронного циклотронного резонансу надто складна. Безпосередньо кріостат складається з трьох модулів, зібраних в одному складному корпусі зі з'єднаною вакуумною порожниною - це гелієва ємність з вмонтованим надпровідним соленоїдом та з'єднана з нею резервна ємність з додатковим запасом зрідженого гелію, а також ємність з зрідженим азотом. Холодоутворюючі модулі двох кріорефрижераторів вмонтовано таким чином, що вони розташовані поряд з гелієвою ємністю. При цьому другі ступені обох кріорефрижераторів, працюючих паралельно на одному

температурному рівні, з'єднані гнучким холодопроводом з теплообмінником, розташованим біля дна основної гелієвої ємності безпосередньо у зрідженому гелії. Після охолодження та першого заповнення зрідженим гелієм два кріорефрижератори повинні були забезпечувати підтримку системи при температурі 4,2 К без додавання зрідженого гелію. Під час випробувань у кріостаті не здійснилось дві основні вимоги: теплоприплив до гелієвої ємності склав близько 3 Вт, який знаходиться на межі потужності двох кріорефрижераторів при температурі 4,2 К. Крім того холодопровідники, які з'єднують гелієву ємність з другими ступенями двох кріорефрижераторів з холодоутворюючою потужністю по 1,5 Вт, не функціонували належним чином. По висновку розробників, це було внаслідок того, що термічний опір мідних гнучких зв'язків був занадто високим, щоб забезпечити достатній потік тепла з ємності на кріорефрижератори. Як наслідок, під час випробувань, щоб компенсувати втрати гелію через випаровування, необхідно було регулярно підливати зріджений гелій в резервну ємність. Але суттєвий недолік вибраного методу та відповідної конструкції полягає ще й в іншому. Цей метод може спрацювати тільки за умови ідеальної передачі тепла, особливо з верхньої резервної ємності з горловиною, на теплообмінник, розташований безпосередньо в зрідженому гелії в нижній ємності. Однак, по фізичній суті наведеної конструкції з реальною теплопровідністю елементів конструкції та зрідженого гелію, ідеальна передача всього теплоприпливу на означений теплообмінник не може здійснитись. Якась частина його все ж призведе до відповідного випарювання гелію. Рішення проблеми підвищення ефективності передачі тепла з ємностей на другі ступені кріорефрижераторів реалізовано в удосконаленій конструкції. Гнучкий холодопровід замінили розташованим окремо, поряд з гелієвою ємністю, циркуляційним теплообмінником - реконденсатором. Мідні ребра блока-реконденсатора кріпляться до охолоджуваних модулів механічно з застосуванням індію. Потік газу з гелієвої ємності надходить в блок і конденсується на високій чистоті мідних ребрах його. Потім рідина тече назад в ємність. Процес, заснований на реконденсації парів гелію, є найбільш ефективним та працює як "насос" по передачі тепла. Однак, поряд з ефективністю роботи цього процесу, слід зазначити як додаткову складність самого пристрою, так і обумовлене ним ускладнення конструкції всього кріостата. Та і все ж це не зменшило теплоприплив до гелієвої ємності, який і залишився близько 3 Вт. Це стало наслідком того, що, у такій складній конструкції кріостата не було передбачено належного використання холодоутворюючих потужностей перших ступенів двох кріорефрижераторів для ефективного захисту гелієвої ємності від надмірного теплоприпливу по всіх його складових. Цю проблему розробники намагаються вирішити шляхом встановлення ще третього такого ж кріорефрижератора, що забезпечить загальну холодопродуктивність 4,5 Вт. При складній початковій конструкції кріостата це вже занадто переускладнить її та не гарантує вирішення проблеми.

З оглядом на все наведене проблема створення системи кріогенного забезпечення великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу як в науково-технічному, так і у конструкторсько-технологічному плані, є відносно новою та надто складною.

Відмінні особливості такої СКЗ комплексу КМК, що створюють складні науково-технічні і виробничі проблеми, є:

Необхідність застосування потужних силових опор, що несуть великогабаритну багатотоннажну гелієву ємність вагою близько тонни / з вбудованим надпровідним соленоїдом / і екрани великої ваги / порядку сотень кг / та сприймають силовий вплив, що виникає внаслідок магнітної взаємодії соленоїда з рухомим робочим пристроєм, розташованим в отворі кріостата;

Надвеликий теплоприплив випромінюванням з зовнішнього кожуху на велику, порядку 15 м², площу поверхні суміжного екрана;

Великий теплоприплив по потужних вводах струму живлення надпровідної магнітної системи,

Необхідність застосування не менше двох кріорефрижераторів для компенсації теплоприпливів на екрани та з опор, з горловини з вводами струму живлення і вводами систем індикації і управління, а так само для компенсації теплоприпливу безпосередньо до гелієвої ємності;

Необхідність забезпечення технологічності виготовлення і збірки кріостата і всієї СКЗ комплексу КМК у виробника. Особливої гостроти набуває проблема складання комплексу КМК і пуску його в експлуатацію, а так само зручність і можливість проводити регламентні роботи в промислових умовах / збагачувальна фабрика, електростанція і т.п. /, де немає відповідного обладнання і кадрів фахівців з роботи з кріомагнітними системами.

Необхідність безперервної/ рік і більше / роботи в автоматичному режимі у виробничих умовах.

Природно, що рішення будь-якої однієї, окремо взятої з наведених проблем, буде корисно. Проте ж ефективне вирішення проблеми створення системи кріогенного забезпечення комплексу такого рівня складності можливо тільки на основі єдиного, всебічного вирішення всього комплексу науково-технічних, конструкторських і технологічних взаємно обумовлених і

5 взаємно пов'язаних заходів, об'єднаних єдиною метою.

В основу запропонованого винаходу поставлено задачу ефективного вирішення всього спектру проблем створення системи кріогенного забезпечення на базі кріорефрижераторів замкнутого циклу великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу, призначеного для безперервної/ рік і більше / роботи в автоматичному режимі у виробничих умовах.

10 В цілому система кріогенного забезпечення складається з двох функціонально взаємообумовлюючих модулів:

безазотний гелієвий кріостат з системою екранів та вузлами силових опор, функціонально завершеними герметичними вузлами введення холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів, а також модуля вводит струму живлення соленоїда та пристроїв індикації, управління і захисту та вмонтованого в гелієву ємність соленоїда надпровідної магнітної системи;

два кріорефрижератори замкнутого циклу, що забезпечують безперервну роботу системи в автоматичному режимі.

20 Перелік фігур креслення.

Фігура 1 - Схема конструкції системи кріогенного забезпечення кріомагнітного комплексу.

Фігура 2 - Схема конструкції опор і екранів - поперечний розріз

Фігура 3 - Схема конструкції опор і екранів - поздовжній розріз

25 Фігура 4 - Схема конструкції вузла введення та з'єднання з екраном E_1 та гелієвою ємністю холодоутворюючого модуля двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора / PT415 фірми Cryomech, INC. /

Фігура 5 - Схема конструкції вузла введення та з'єднання з екраном E_2 холодоутворюючого модуля одноступінчастого кріорефрижератора / AL200 фірми Cryomech, INC. /

30 Фігура 6 - Схема конструкції горловини з входами струму живлення та пристроями індикації, управління та захисту й вузлами з'єднання з екранами.

Схема конструкції системи кріогенного забезпечення кріомагнітного комплексу наведена на Фігурі 1. Відповідно 1 - Ємність гелієва, 2 - Екран E_1 з температурою близько 45-50 K, 3 - Екран E_2 з температурою близько 80 K, 4 - Кожух зовнішній, 5 - Соленоїд надпровідний, 6 - Вузол введення модуля одноступінчастого кріорефрижератора, 7 - Модуль одноступінчастого кріорефрижератора, 8 - Модуль введення вводит струму живлення й пристроїв систем управління, індикації та захисту, 9 - Горловина, 10 - Модуль двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора, 11 - Вузол введення модуля двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора.

40 З урахування наведеного поставлена задача вирішується за рахунок того, що здійснюються взаємообумовлені та взаємообґрунтовані науково-технічні і конструкторсько-технологічні рішення.

Аналіз результатів розрахунково-теоретичних та експериментальних досліджень показує, що визначення необхідної холодоутворюючої потужності кожного ступеня кріорефрижератів та вибір відповідної моделі їх у великогабаритному багатотоннажному кріомагнітному комплексі потрібно виконувати, керуючись наступним. Переважне навантаження теплоприпливів за рахунок випромінювання, а також й теплоприпливів по всіх елементах опор конструкції кріостата та з горловини з модулем вводит струму живлення соленоїда та пристроїв індикації, управління та захисту, припадає на діапазон температур від 300 K до рівня близько 80 K. З огляду на це, з умови компенсування їх на температурному рівні поряд 80 K, найбільш ефективним є використання одноступінчастого кріорефрижератора відповідної холодоутворюючої потужності.

Відповідно наведеному, завдяки захисту від надмірних теплоприпливів до рівня 80 K за допомогою потужного одноступінчастого кріорефрижератора, на температурному рівні нижче 80 K сумарний теплоприплив по всіх складових становить вже порівняно незначну величину. Умовно кажучи, двоступінчастий кріорефрижератор, призначений для компенсації цих незначних теплоприпливів, працює під захистом більш потужного одноступінчастого кріорефрижератора. Завдяки цьому суттєвим, у визначенні відповідної моделі кріорефрижератора-реконденсатора, стає холодоутворююча потужність другого ступеня його.

Усе наведене сприяє можливості взаємообумовленого, та все ж вільного визначення необхідних моделей обох кріорефрижераторів, призначених для роботи на відповідних температурних рівнях.

1. Керуючись наведеним, головне полягає в тому, що комплексне вирішення всіх проблем та визначення оптимальних конструктивних параметрів кріостата і вибору моделей кріорефрижераторів, що забезпечують компенсацію теплоприпливів на відповідних температурних рівнях, проводиться на основі розрахунку та аналізу складових теплового балансу всієї системи СКЗ. Аналіз проводиться на основі розрахунку його складових стосовно до роботи в стаціонарному режимі. Складові сумарного теплоприпливу $Q_{\text{сум}}$ визначаються загальновідомими рівняннями, що описують теплоприплив випромінюванням, теплопровідністю по стінці та по стоячому стовпу газу в горловині. Теплоприплив по горловині розраховується з урахуванням також теплоприпливу по модулю вводити струму живлення соленоїда та пристроїв індикації, управління та захисту:

Сумарний теплоприплив $Q_{\text{сум}}$ на одноступінчастий кріорефрижератор складається з теплоприпливу випромінюванням з зовнішнього кожуха на суміжний екран E_2 , випромінюванням з екрана E_2 на суміжний екран E_1 (теплопровідністю з опор екрана E_2 , по кожуху введення модуля одноступінчастого кріорефрижератора, а також з верхньої частини горловини. Отримане таким розрахунком значення сумарного теплоприпливу $Q_{\text{сум}}$ використовується для визначення моделі одноступінчастого кріорефрижератора.

Сумарний теплоприплив $Q_{\text{сум-1}}$ на перший та $Q_{\text{сум-2}}$ на другий ступінь двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора визначення як:

сумарний теплоприплив $Q_{\text{сум-2}}$ на другий ступінь фактично є теплоприплив до гелієвої ємності $Q_{\text{сум.ємн}}$, що складається з теплоприпливу по нижній частині горловини, з опор ємності та по кожуху введення модуля другого ступеня кріорефрижератора, а також випромінюванням з суміжного екрана E_1 на ємність. Отримане значення теплоприпливу $Q_{\text{сум.ємн}}$ на гелієву ємність приймається як максимально прийнятне навантаження $Q_{\text{сум-2}}$ на другий ступінь двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора;

сумарний теплоприплив $Q_{\text{сум-1}}$ на перший ступінь того ж двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора складається з теплоприпливу випромінюванням з суміжного екрана E_2 на екран E_1 теплопровідністю з опор екрана E_1 , та по кожуху введення першого ступеня холодоутворюючого модуля кріорефрижератора, з середньої частини горловини, а також випромінюванням з суміжного екрану E_1 на ємність.

Отримане значення сумарного теплоприпливу $Q_{\text{сум-1}}$ приймається як максимально прийнятне навантаження на перший ступінь двоступінчастого кріорефрижератора. Отримані наведеними розрахунками величини сумарного теплового навантаження на перший та другий ступені використовується для остаточного визначення прийнятної моделі двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора.

2. Опори виконані у вигляді двох дугоподібних рам, розташованих з обох сторін по торцях ємності. Кожна рама складається з окремих секторів.

На Фігурі 2 наведена схема поперечного розрізу конструкції опор і екранів. Відповідно 12 - Рама опорна, 13 - Вузол кріплення гелієвої ємності до рами 12, 14 - Вузол кріплення екрана E_1 з температурою близько 45-50 K до рами 12 та холодознімання з неї, 15 - Вузол кріплення екрана E_2 з температурою близько 80 K до рами 12 та холодознімання з неї.

На Фігурі 3 наведена схема поздовжнього розрізу конструкції опор і екранів. Де 1 - Ємність гелієва, 2 - Екран E_1 з температурою поряд 45-50K, 3 - Екран E_2 з температурою близько 80 K, 4 - Кожух зовнішній, 12 - Рама опорна.

Згідно з наведеним у пункті 1, завдяки достатній потужності відповідних холодоутворюючих ступенів модулів кріорефрижераторів та ефективному тепловідводу на них, з метою забезпечення надійної підвіски та фіксації взаємного положення ємності і екранів на рамах, конструкція секторів її може бути виконана з умови забезпечення належної стійкості та міцності їх. Рами виготовляються з матеріалу з низькою теплопровідністю. З'єднання секторів рами розділені ефективними теплоізолюючими проставками.

3. Радіаційні екрани з торцевими фланцями призначені для захисту від теплоприпливу випромінюванням. Відповідно екран E_2 поз.3-для захисту екрана E_1 поз.2, а він, в свою чергу, для захисту гелієвої ємності:

з метою ефективного відводу теплоприпливу, що надходить на них, випромінюванням, а так само зняття з опор, вузлів вводу та з горловини, екрани виконані достатньої теплопровідності та конструктивно, за допомогою холодознімачів, з'єднані з відповідними ступенями холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів поз. 7 та 10;

кожен екран, достатньої міцності, відповідними фланцями, з метою забезпечення жорсткості і стійкості взаємного положення ємності і екранів, підвищений до рами 12 в чотирьох протилежних місцях, по два до кожної рами / Фіг. 2 і 3 /. Таким чином екрани, поряд з захистом від теплоприпливу випромінюванням, виконують функції холодопроводів для відводу теплоприпливу з опор 12, модулів вводу та горловини 9 на відповідні ступені модулів кріорефрижераторів поз. 7 та 10 та, завдяки узгодженій конструкції опори 12 і екранів та взаємного кріплення їх, також і поздовжньої і поперечної стійкості і жорсткості всієї конструкції.

4. Вузли введення холодоутворюючих модулів 6 та 11 кріорефрижераторів 7 та 10 виконані у вигляді окремих функціональних вбудовуваних герметичних модулів. Схема конструкції вузла введення 11 та з'єднання з екраном E_1 та гелієвою ємністю 1 холодоутворюючого модуля двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора / PT415 фірми Cryomech, INC. / поз. 10 наведена на Фігурі 4. Відповідно 1 - Ємність гелієва, 2 - Екран E_1 з температурою близько 45-50 K, 3 - Екран E_2 з температурою близько 80 K, 10 - Холодоутворюючий модуль двоступінчастого кріорефрижератора - реконденсатора / PT415 фірми Cryomech, INC. /, 16 - Реконденсатор $X_{\text{емн.}}$, 17 - Холодознімач $X_{\text{мод.РТ}}$ модуля кріорефрижератора - реконденсатора / PT415 фірми Cryomech, INC. / поз. 10, 18 - Холодознімач X_{E_1} , для відводу тепла з екрана E_1 на другий ступінь кріорефрижератора-реконденсатора / PT415 фірми Cryomech, INC. / поз. 10, 19 - Кожух вузла введення холодоутворюючого модуля двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора / PT415 фірми Cryomech, INC. / поз. 10. З метою забезпечення ефективного тепловідводу з екранів E_1 поз.2 та E_2 поз.3, з опор 12 і з горловини 9 вони оснащені гнучкими теплопровідниками.

5. Схема конструкції вузла введення та з'єднання холодоутворюючого модуля одноступінчастого кріорефрижератора / AL200 фірми Cryomech, INC. / поз. 7 з екраном E_2 поз. 3 наведена на Фігурі 5.

Відповідно 1 - Ємність гелієва, 2 - Екран E_1 з температурою поряд 45-50K, 3 - Екран E_2 з температурою поряд 80K, 7 - Холодоутворюючий модуль одноступінчастого кріорефрижератора /AL200 фірми Cryomech, INC. /,

20 - Холодознімач X_{E_2} з екрана E_2 з температурою близько 80 K,

21 - Холодознімач $X_{\text{мод.АЛ}}$ модуля кріорефрижератора / AL200 фірми Cryomech, INC. / поз. 7,

22 - Кожух вузла введення холодоутворюючого модуля кріорефрижератора /AL200 фірми Cryomech, INC. /.

6. Схема конструкції вузла вводу струму живлення надпровідного соленоїда, пристроїв систем управління, індикації та захисту та захолодження й заливки кріоагентів і стикування горловини 9 через екрани E_1 та E_2 з відповідними ступенями модулів кріорефрижераторів поз. 7 та 10 детально наведена на Фігурі 6. Вузол ввів виконано у вигляді знімного функціонального модуля. Всі елементи модуля, в місцях механічного з'єднання з горловиною, з метою забезпечення стоку тепла на неї, обладнані холодознімачами. В свою чергу, з метою забезпечення стоку тепла на відповідні ступені холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів горловина 9, у тих же відповідних місцях, обладнана холодознімачами, за допомогою яких вона з'єднується з відповідним екраном. Відповідно 1 - Ємність гелієва, 2 - Екран E_1 з температурою близько 45-50 K, 3 - Екран E_2 з температурою поряд 80 K, 4 - Кожух зовнішній, 8 - Модуль ввів струму живлення та пристроїв систем управління, індикації та захисту, 9 - Горловина, 23 - Холодознімач $X_{1\text{горл.}}$ з горловин поз. 9 на рівні температури близько 45-50 K, 24 - Холодознімач $X_{1\text{ток.}}$ з ввів струму живлення надпровідного соленоїда, пристроїв систем індикації, управління та захисту на рівні температури близько 45-50 K, 25 - Холодознімач $X_{2\text{ток.}}$ з ввів струму живлення надпровідного соленоїда, пристроїв систем індикації, управління та захисту на рівні температури поряд 80 K, 26 - Холодознімач $X_{2\text{горл.}}$ з горловини поз. 9 на рівні температури близько 80 K,

27 - Вузол з'єднання ввів струму живлення та пристроїв індикації, управління та захисту.

7. Другий ступінь кріорефрижератора поз. 7 приєднана холодознімачем $X_{\text{мод.РТ}}$ безпосередньо до реконденсатора поз. 16, розташованого всередині гелієвої ємності поз. 1, у верхній частині її, безпосередньо над дзеркалом зрідженого гелію. Завдяки цьому він виконує функції реконденсації парів гелію безпосередньо в ємності.

8. Вузли введення холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів та ввів струму живлення надпровідного соленоїда, пристроїв систем індикації, управління та захисту виконано у вигляді герметичних функціонально завершених модулів. Це забезпечує простоту виготовлення, можливість попереднього відпрацювання їх параметрів та збірки кріостата і всієї системи кріогенного забезпечення комплексу КМК у виробника, а також складання його і регламентні роботи у виробничих умовах.

Порівняння запропонованого технічного рішення з найближчим аналогом дозволило встановити відповідність його критерію "новизна", бо воно відрізняється від відомого:

комплексністю рішення всієї проблеми на основі розрахунку теплового балансу всієї системи кріогенного забезпечення та визначення на цій основі прийнятних моделей кріорефрижераторів замкнутого циклу;

взаємообумовленістю та взаємообґрунтованістю конструктивних елементів, виконаних у вигляді самостійних функціональних модулів:

вузлів введення холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів;

модуля вводу струму живлення надпровідного соленоїда, пристроїв систем індикації і управління та заходження й заливки кріоагентів;

конструкцією опор і екранів та взаємним розміщенням та кріпленням їх.

Порівняння запропонованого технічного рішення з іншими технічними рішеннями у даній галузі техніки не дозволило виявити в них ознак, які б ганьбили суттєві ознаки системи кріогенного забезпечення на базі кріогенних рефрижераторів замкнутого циклу великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу. Таким чином, запропонована система кріогенного забезпечення на базі кріогенних рефрижераторів замкнутого циклу великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу, призначеного для безперервної/ рік і більше / роботи в автоматичному режимі у виробничих умовах, відповідає критерію "винахідницький рівень".

Рівень та технічні переваги запропонованої конструкції полягають у здійсненні взаємообумовлених та взаємообґрунтованих рішень і заходів, за рахунок чого досягнуті суттєві переваги:

всі науково-технічні і конструкторські рішення в ній взаємообумовлені та здійснюються на основі розрахунку теплового балансу всієї системи;

компенсування припадаючого на діапазон температур до рівня 80 К переважного навантаження теплоприпливів ефективно потужним одноступінчастим кріорефрижератором. Відповідно на температурному рівні нижче 80 К ефективним є двоступінчастий кріорефрижератор-реконденсатор;

компенсація теплоприпливів до ємності здійснюється шляхом реконденсації парів гелію безпосередньо в ній;

вбудовуває функціональні вузли введення холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів та вводу струму живлення і пристроїв систем управління, індикації та захисту забезпечують можливість попереднього відпрацювання їх параметрів та простоту складання кріостата і регламентних робіт у виробничих умовах

Екрани E_1 та E_2 з'єднані з відповідними ступенями холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів та підвішені в чотирьох протилежних місцях, по два до кожної з опорних рам поз. 12, розташованих з обох сторін по торцях ємності. Таким чином екрани, поряд з захистом від теплоприпливу випромінюванням, виконують функції холодопроводів для тепловідводу з опор 12 і горловини 9 на відповідні ступені модулів кріорефрижераторів та, завдяки узгодженій конструкції опори і екранів та взаємного кріплення їх, також і поздовжньої і поперечної стійкості і жорсткості всієї конструкції.

Відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу. Основні рішення по конструкції системи кріогенного забезпечення на базі кріогенних рефрижераторів замкнутого циклу великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу, застосованим матеріалам, комплектуючого обладнання та технології виготовлення, базуються на реальних розробках і виробничих досягненнях провідних фірм:

В галузі фізики і техніки низьких температур, фундаментально викладених в роботах - Довідник по фізико-технічних основах кріогеніки. / Під редакцією проф. Маякова М.П. - Москва: Вища школа, 1985р., Тепломасообмін в низькотемпературних конструкціях. М.Г. Каганер. - Москва: Енергія, 1979р., Теплопередача при низьких температурах. / Під ред. У.Фроста / переклад з англійської/ - Москва: Світ, 1977р.

В частині системи кріогенного забезпечення - на основі власних розробок і незліченної кількості публікацій провідних фірм в Україні та за кордоном в області кріостатів для наукових досліджень та промислового призначення;

В частині розрахунку конструктивних параметрів кріостата і його базових модулів, а так само вибору оптимальних моделей кріорефрижераторів замкнутого циклу проводиться на основі розрахунку та аналізу складових теплового балансу всієї системи СКО за методикою, найбільш повно представленою в роботі "Дослідження теплообміну в горловині, методика розрахунку і розробка кріостатів і комплексних кріогенних систем". Демішев А.Г., Автореферат дисертації, Донецьк, 1979р.

Виготовлення кріостата і його модулів передбачається з використанням широковідомих і масово виготовлюваних в Україні та за кордоном матеріалів - сталь нержавіюча аустенітна немагнітна типу 12 × 18Н10Т і мідь;

В частині технології виготовлення - на основі технології, що успішно реалізується на провідних підприємствах в області кріогенного вакуумного виробництва в Україні та за кордоном. Це експериментальні виробництва Донецького фізико-технічного інституту, Інституту фізики \м. Київ \, Фізико-технічного інституту низьких температур \ м. Харків \ НАН України, та Азовобщемаш м. Маріуполь. Найбільш відомі провідні підприємства в Росії - це ОАО «Кріогенмаш» м. Балашиха, НПО «Геліймаш» та компанія "CryoMagnet" м. Москва. З безлічі відомих закордонних фірм слід зазначити "Cryomagnetics Inc". США, різноманітні кріомагнітні системи на базі кріорефрижераторів якої найбільш широко представлені на ринку.

В плані виробництва особливо важливо те, що в кріостаті передбачені функціональні герметичні вузли введення холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів та вводу струму живлення та пристроїв індикації, управління та захисту. Завдяки цьому попереднє відпрацювання параметрів модулів здійснюється окремо, а подальший монтаж їх, з метою запобігання ушкоджень їх і втрати параметрів, проводиться вже після складання власне кріостата і відкачування вакуумної порожнини його з прогріванням.

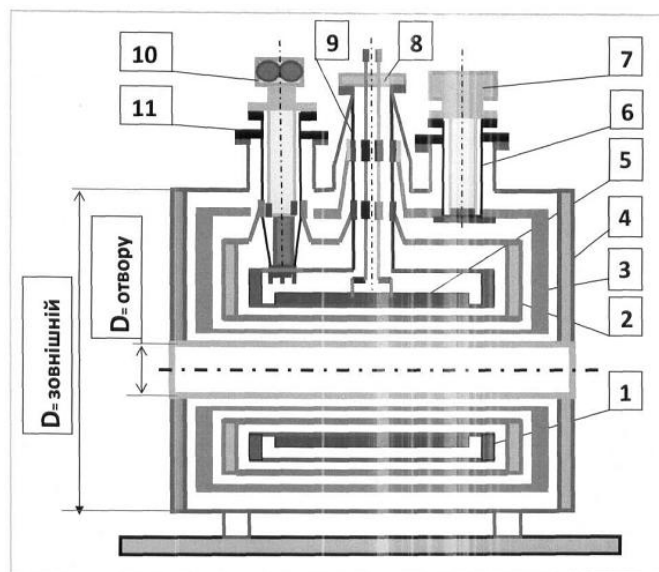
В частині застосованих кріорефрижераторів замкнутого циклу - на розробках провідних фірм, що пропонуються на комерційному ринку. На гелієвому рівні температур - це серія двоступінчастих кріорефрижераторів-реконденсаторів моделей PT і RDK фірми Cryomech, Inc., моделей PT і SRDK фірми JANIS, INC. На азотному рівні температур - це серія одноступінчастих кріорефрижераторів модельного ряду AL фірми Cryomech, Inc., фірми Quantum Technology Corp моделі Single Stage GM System Q02.1-125SYS, фірми НТК Кріогенна техніка - моделей MCMP. Фірмами створена широка мережа представництв, які здійснюють поставки кріорефрижераторів, шефмонтаж і запуск їх в роботу, а так само подальше сервісне обслуговування.

У довгостроковій перспективі, також і створенні нової системи важливо, що застосовані кріорефрижератори з аналогічних модельних рядів. Відповідно, в разі зміни кон'юнктури ринку, навіть на цьому ж комплексі, без суттєвих змін в конструкції, можна застосувати інший аналогічний кріорефрижератор.

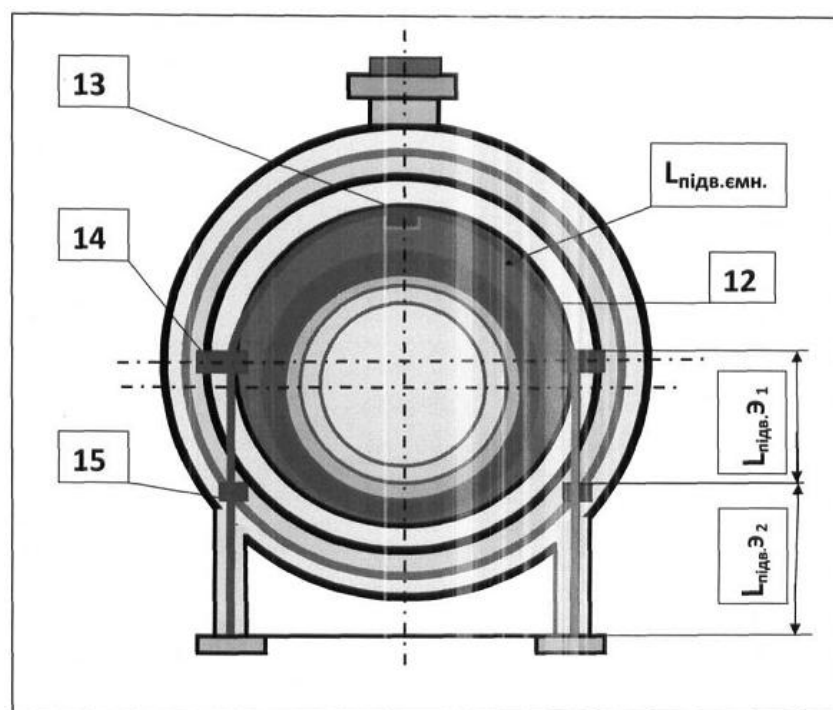
Вивід комплексу КМК на робочий режим експлуатації здійснюється наступним чином: - попереднє захолодження кріостата з соленоїдом заливкою гелієвої ємності зрідженим азотом. Наступне захолодження і заповнення гелієвої ємності зрідженим гелієм, запуск кріорефрижераторів у роботу; - заживлення соленоїда струмом до робочого значення і переведення системи в стаціонарний режим автоматичної роботи.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

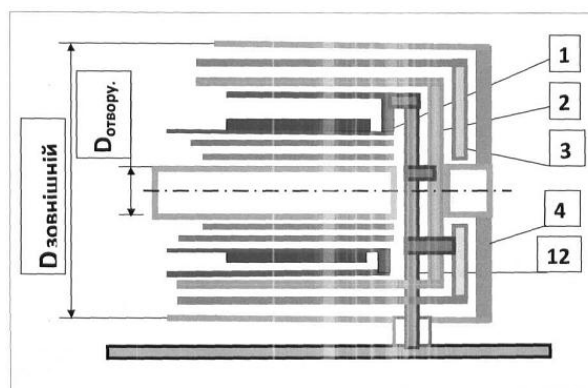
Система кріогенного забезпечення на базі кріорефрижераторів замкнутого циклу великогабаритного багатотоннажного кріомагнітного комплексу, що складається з безазотного гелієвого кріостата з системою екранів і опор, з вмонтованим надпровідним соленоїдом та двома кріорефрижераторами, яка **відрізняється** тим, що в кріостаті як кріорефрижератори передбачені потужний одноступінчастий кріорефрижератор та двоступінчастий кріорефрижератор-реконденсатор, також передбачені вбудовувані герметичні функціональні вузли введення холодоутворюючих модулів кріорефрижераторів та вводу струму живлення і систем індикації, управління та захисту, що оснащені холодознімачами та з'єднані з теплопровідними захисними радіаційними екранами за допомогою гнучких теплопроводів, екрани підвішені на опорах, виконаних у вигляді двох рам, розташованих з обох сторін по торцях ємності кріостата для тепловідводу з опор і горловини ємності та поздовжньої і поперечної стійкості і жорсткості всієї конструкції, для компенсації теплоприливів до ємності кріостата передбачений реконденсатор парів гелію, розташований в ємності безпосередньо над дзеркалом зрідженого гелію та приєднаний холодознімачем до другого ступеня двоступінчастого кріорефрижератора-реконденсатора.



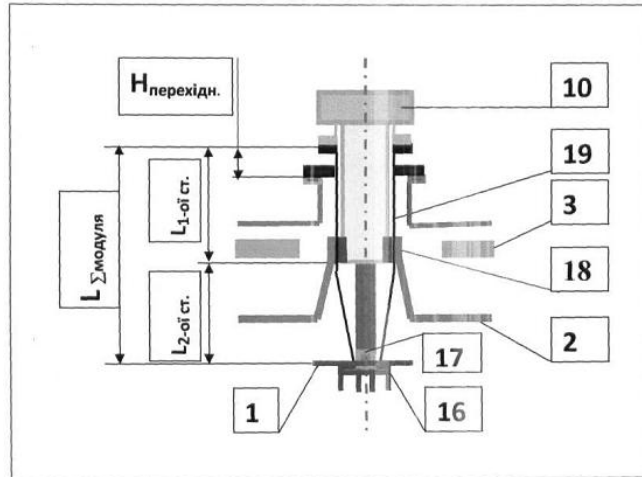
Фігура 1



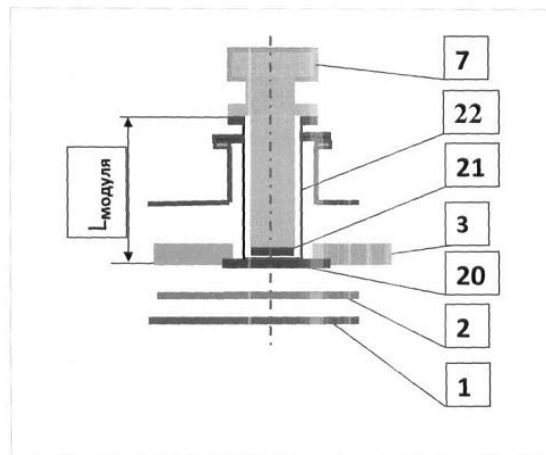
Фігура 2



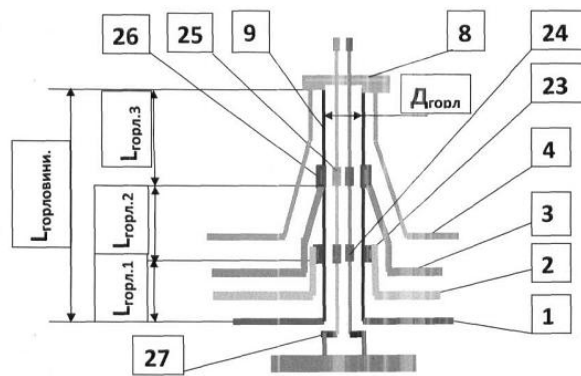
Фігура 3



Фігура 4



Фігура. 5



Фігура 6

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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