

**І.П. Жарков, В.О. Маслов, В.В. Сафронов, В.О. Ходунов**

Інститут фізики НАН України, Київ

## **ЕКОНОМІЧНА УНІВЕРСАЛЬНА ТЕРМОРЕГУЛЬОВАНА КРІОСИСТЕМА ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ**



З метою апаратного забезпечення довготривалих наукових експериментів при температурах  $1,6\div 350$  або  $77\div 350$  К створена економічна універсальна терморегульована кріосистема, яка працює як з рідким гелієм, так і з рідким азотом протягом більше 48 год і зі стабілізацією заданої температури з точністю  $\pm 0,05$  К без зміни її конструкції. Показано, що дана конструкція забезпечує роботу в необхідному температурному діапазоні з точністю не гірше  $\pm 0,05$  К при мінімальних витратах кріоагента.

*Ключові слова:* кріосистема, азот, гелій, терморегуляція, стабільність температури, довготривалий експеримент.

Вироблювані у світі кріостати можна розділити на 2 основних типи: *рідинні* (в термінології західних виробників «*he-bath cryostat*») і *проточні* («*flow gas cryostat*») [1].

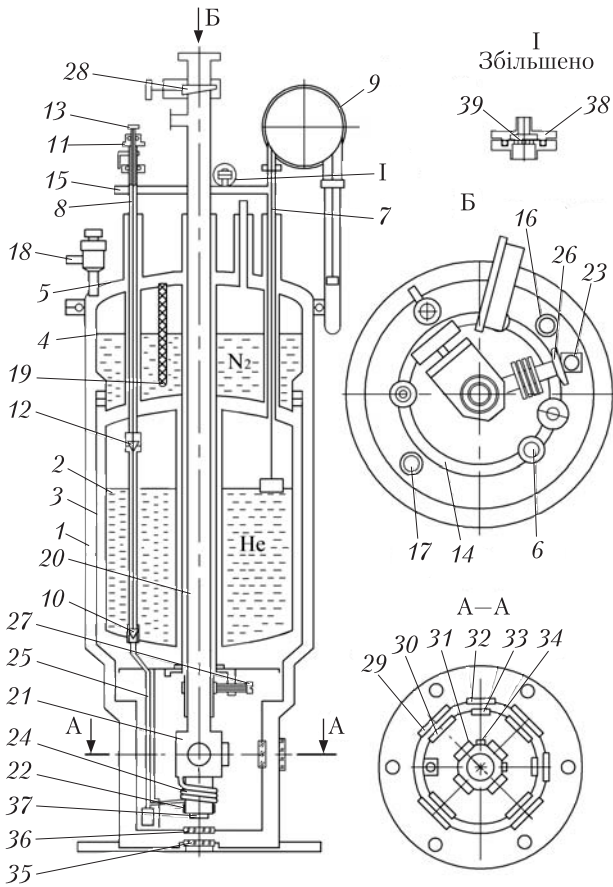
Проточні кріостати сукупно з низкою переваг (малі габарити, проста і жорстка конструкція, експлуатація кріостата при будь-якій орієнтації в просторі, невелика вага і т. ін.) мають і суттєві недоліки, а саме: *а)* низька стабільність підтримуваної температури; *б)* значні витрати кріоагента; *в)* вібрація досліджуваного об'єкта в просторі в результаті примусового обдування його потоком газу.

При використанні рідинних кріостатів витрати кріоагента порівняно з проточними зменшуються на 1–2 порядки і складають величину порядку 0,1 л/год, а стабільність підтримання температури знаходиться в межах 0,1 К. Крім того, будь-які механічні впливи на об'єкт відсутні. Основними недоліками рідинних кріостатів є значний час підготовки кріостата в процесі охолодження його азотом,

великі витрати гелію на охолодження і підтримку низьких температур.

Як проточні, так і рідинні кріостати можуть бути автономними або неавтономними.

Вибір типу кріостата визначається специфікою досліджень і вимогами експериментальних задач. Розроблювані та виготовлювані в Інституті фізики НАН України кріостати [2–4] за своїм типом можна віднести до *комбінованих* або *рідинно-проточних*. Це – автономні пристрої, що складаються з гелієвої ємності, азотної сорочки та нагрівача, змонтованого на камері термостатування. Керування температурою в межах  $4,2\div 350$  К здійснюється зміною швидкості подачі кріоагента в камеру термостатування і нагріванням кріоагента. Зміна температури зразка за цих умов досягається за рахунок теплообміну зі зразком газового потоку кріоагента, що проходить через камеру термостатування і обдуває зразок. Завдяки оригінальним технологічним принципам кріостатування кріостатні системи УТРЕКС (Уніфікована ТермоРЕгульована Кріостатна Система) на базі рідинно-проточних кріостатів мають високі характеристики.



Спеціальна конструкція економічного криостата

Існує ряд дослідницьких задач, що вимагають проведення експерименту при низьких температурах протягом тривалого часу. Для прикладу наведемо дослідження релаксацийних процесів у магнітовпорядкованих речовинах або неоднорідних системах і т.д., для проведення яких на ринку криогенної продукції пропонуються криосистеми із замкнутим циклом зрідження (кріорефрижератори). Але через конструктивні особливості в них наявні вібрація і недостатньо низька температура охолодження досліджуваного зразка (від 6 К), хоча для більшості експериментів необхідна температура 4,2 К і нижче (1,4÷1,6). Пропонувалися також криостати з можливістю автоматичної підтримки рівня криогенної рідини, однак через проблеми скипання рідкого холодо-

агента в процесі надходження нових його порцій ззовні і зміну тиску в криостаті вони не отримали широкого розповсюдження.

В країнах СНД (як і в інших країнах) з ряду причин виникають проблеми із забезпеченням рідким гелієм і практично немає проблем із забезпеченням рідким азотом. Тому викликають інтерес економічні криосистеми з достатнім часовим ресурсом підтримки криогенних температур.

Метою нашої роботи було створення економічної терморегульованої криосистеми, здатної забезпечити науковий експеримент в умовах низьких температур протягом тривалого часу з високою точністю підтримки температури на заданому рівні. Притому можна працювати з обома видами рідкого криоагента — і гелієм, і азотом. Поставлену задачу було вирішено шляхом розробки спеціальної конструкції гелієвого криостата, регулятора температури і спеціалізованого тримача зразка — єдиного комплексу криогенного забезпечення наукового експерименту.

Таблиця 1

Технічні дані криостата

Параметр та одиниці вимірювання	Показник
Діапазон регулювання температури, К Криоагенти	1,6÷350 рідкий гелій, рідкий азот
Витрати рідкого гелію:	
а) при охолодженні криостата, см <sup>3</sup> , не більше	500
б) при підтримці температури 1,6 К, см <sup>3</sup> /год, не більше	213
Час безупинної роботи при 1,6 К без дозаливки криоагентами, год, не менше	24
Обсяг бака рідкого азоту, см <sup>3</sup>	2700
Обсяг бака рідкого гелію, см <sup>3</sup>	5000
Діаметр завантажувального каналу криостату, мм	33
Розміри камери термостатування, мм	∅ 33 × 180
Маса-криостата, кг	12
Робочий тиск розривних мембран захисних клапанів, Па	5÷7 · 10 <sup>4</sup>

Конструкція кріостата представлена на рисунку. В середині розбірного корпусу 1 розміщується гелієвий бак 2, оточений мідним екраном 3, що охолоджується рідким азотом, залитим в азотний бак 4. Гелієвий і азотний баки підвішені до кришки 5 на тонкостінних трубках із матеріалу з низькою теплопровідністю. Трубки підвісу гелієвого бака 6, 7 і 8 використовуються відповідно для заливки рідкого гелію, розміщення покажчика рівня 9, монтажу голчастого вентиля 10 подачі рідкого гелію, який управляється ручкою 11, а також голчастого вентиля 12 подачі газоподібного гелію, який управляється ручкою 13. У верхній частині трубки підвісу гелієвого бака сполучені між собою колектором 14 для відводу гелію, що випаровується у магістраль через штуцер 15. Трубки підвісу азотного бака 16 і 17 використовуються для заливання і видалення випару азоту. Вакуумна порожнина кріостата відкачується форвакуумним насосом через вакуумний кран 18. Високий вакуум створюється кріонасосом 19. У центрі корпусу кріостата розміщується шахта (завантажувальна труба) 20, що закінчується на дні камерою термостатування 21, на зовнішній поверхні якої накручено електронагрівач 22 ( $R = 100 \text{ Ом} \pm 20 \%$ ,  $U_{\text{max}} = 40 \text{ В}$ ), виводи якого підпаяні до роз'єму 23. На камері термостатування накручено теплообмінник 24, сполучений із трубою 25 подачі гелію. Випуск газоподібного гелію з камери термостатування провадиться через шахту 20 і штуцер 26. Положення шахти фіксується трьома гвинтами 27. Зверху на шахті розташований шибєрний затвор 28, що перекиває прохідний перетин шахти при шлюзуванні зразків. Для проведення оптичних досліджень на корпусі 1, екрані 3 і камері термостатування 21 встановлені: а) по 4 вікна 29, 30 і 31 під кутом  $90^\circ$  з діаметром гелієвого вікна 20 мм; б) по 2 вікна 32, 33, і 34 з діаметрами гелієвих вікон 9 мм під кутом  $45^\circ$  між вікнами 29, 30, 31 в) донні вікна 35, 36, 37 з діаметром гелієвого вікна 16 мм. Для запобігання руйнації кріостата при підвищенні тиску у вакуумному про-

сторі гелієвого бака і шахти встановлені захисні клапани 38, розривні мембрани 35 яких таровані на робочий тиск  $5 \div 7 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

До комплекту кріостата додається спеціалізований тримач для підведення додаткових

Таблиця 2

**Результати випробування економічної кріосистеми УТРЕКС при використанні рідкого гелію як робочого кріоагента без підведення енергії ззовні**

Параметр та одиниці вимірювання	Показник
Діапазон регулювання температури, К	1,4÷1,6–350
Стабільність температури, К	$\leq \pm 0,05$
Час повного охолодження, хв	90
Час роботи, год, при:	
1,6 К	20
4,2 К	35
80 К	65
150 К	55
250 К	65
300 К	80

Таблиця 3

**Результати випробування економічної кріосистеми УТРЕКС при використанні рідкого гелію як робочого кріоагента при підведенні енергії ззовні**

Параметр та одиниці вимірювання	Підведена потужність, Вт	Показник
Час роботи, год, при:		
1,6	0,1	14
4,2	0,1	28
80 К	0,1	60
150 К	0,1	50
250 К	0,1	55
300 К	0,1	72
1,6	0,2	10
4,2	0,2	20
80 К	0,5	30
150 К	0,5	50
250 К	0,5	60
300 К	0,2	70
80 К	0,5	50

Таблиця 4  
**Результати випробування економічної кріосистеми УТРЕКС при використанні рідкого азоту як робочого кріоагента без підведення енергії ззовні**

Параметр та одиниці вимірювання	Показник
Діапазон регулювання температури, К	77÷350
Стабільність температури, К	$\leq \pm 0,05$
Час повного охолодження, хв	90
Час роботи, год, при:	
77,3 К	22
80 К	26
90 К	30
150 К	42
200 К	80
250 К	62,5
300 К	100
350 К	100

Таблиця 5  
**Результати випробування економічної кріосистеми УТРЕКС при використанні рідкого азоту як робочого кріоагента при підведенні енергії ззовні**

Параметр та одиниці вимірювання	Підведена потужність, Вт	Показник
Час роботи, год, при:		
77,3	0,1	15
80 К	0,1	21
90 К	0,1	28
150 К	0,1	39
200 К	0,1	42
250 К	0,1	53
300 К	0,1	90
77,3	0,2	11
80 К	0,2	15
90 К	0,2	14
150 К	0,5	39
200 К	0,5	40
250 К	0,5	50
300 К	0,5	80

факторів фізичного впливу (електричне поле, механічні зусилля і т.д.) на досліджуваній зразок і підведення/зняття інформації, а також регулятор температури. При використан-

ні рідкого азоту як робочого кріоагента він заливається в гелієвий бак. В цей же бак у трубку 6 вводиться випаровувач рідкого азоту, на якому змонтовані датчик рівня кріогенної рідини та датчик захисту кріостата від перегрівання. Регулятор температури з використанням «ноу-хау» [5] підтримує стабільний тиск у баці з кріоагентом, регулюючи потужність, що виділяється на випаровувачі, а при пониженні рівня азоту нижче допустимого відключає силові виконавчі пристрої (випаровувач та нагрівач), а також необхідну температуру зразка. Датчик температури розташований на тримачі. Нагрівачі, випаровувач і датчик рівня рідкого азоту підключені до регулятора температури за допомогою електричного кабелю. Завдяки застосуванню оригінального способу [6] необхідна температура досягається без перерегулювання при мінімальних витратах кріоагентів — і рідкого гелію, і рідкого азоту.

Технічні характеристики кріостата і отримані результати випробувань кріосистеми наведені в табл. 1–5. Як видно з наведених таблиць, одноразова заправка кріостата рідким гелієм в кількості 5,5 л (з урахуванням процесу охолодження) дає можливість провести експеримент з підводом енергії ззовні при температурі 1,6 К не менше 10 год, а при кімнатній температурі — 3 доби поспіль. При використанні рідкого азоту в тій же кількості можна проводити експеримент при температурі 77 К з підводом енергії ззовні не менше 11 год протягом 3 діб при кімнатній температурі.

#### ВИСНОВКИ

Розроблена нами кріосистема забезпечує довготривалий науковий експеримент в діапазонах температур 1,6÷350 К та 77÷350 К з високою точністю при використанні як рідкого гелію, так і рідкого азоту як робочого кріоагента. Таким чином, фактично виконуються функції двох кріостатів в одній конструкції.

*Робота виконана в рамках Програми наукового приладобудування НАН України, грант П2/08-40.*

ЛІТЕРАТУРА

1. *Беляева А.И., Силаев В.И., Стеценко Ю.Е.* Проточные криостаты для лабораторных исследований. — К.: Наук. думка, 1987.
2. *Медведев В.С., Ермаков В.М., Водолаский П.В. и др.* А. с. СССР №436334, МКИ G05d 23/30, G 05d 16/06. — Бюлл. изобретений СССР (15.07.74), № 26. — С. 126.
3. *Zharkov I.P., Ermakov V.M., Safronov V.V., Tchmul A.G.* The cryosystems UTRECS for the spectral analysis: new methods and approaches // Вестник ХГУ, 1999. — № 434, сер.: «Биофиз.вестник», вып. 3. — С. 125.
4. *Жарков И.П., Ермаков В.М., Сафронов В.В., Чмуль А.Г.* Универсальная терморегулируемая криостатная система // Матер. 1-ой Украинской научн. конф. по физике полупроводников УНКН-1, Одесса, Астропринт, 2002. — Т. 2. — С. 279.
5. *Жарков И.П., Ермаков В.М., Сафронов В.В., Чмуль А.Г.* Декларационный патент на корисну модель України № 18778 «Терморегульований криостатний пристрій». — Бюл. № 11. 15.11.2006., МПК G05D 23/30. — Оpubл. 15.11.2006.
6. *Жарков И.П., Иващенко О.М., Сафронов Погребняк С.В.* Патент України на винахід № 87503 «Спосіб та пристрій для регулювання температури». — Бюл. № 14 від 27.07.09 р. МПК G05D 23/30, F25B9/00, G05D23/19. — Оpubл. 27.07.2009.

*И.П. Жарков, В.А. Маслов  
В.В. Сафронов, В.А. Ходунов*

ЭКОНОМИЧНАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ  
ТЕРМОРЕГУЛИРУЕМАЯ КРИОСИСТЕМА  
ДЛЯ ДОВГОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С целью аппаратного обеспечения долговременных научных экспериментов при температурах 1,6÷350 или

77÷350 К создана экономичная универсальная терморегулируемая криосистема, работающая как с жидким гелием, так и с жидким азотом более 48 час и со стабилизацией заданной температуры с точностью  $\pm 0,05$  К без изменения ее конструкции. Показано, что данная конструкция обеспечивает работу в необходимом температурном диапазоне с точностью не хуже  $\pm 0,05$  К при минимальных затратах криоагента.

*Ключевые слова:* криосистема, азот, гелий, терморегулирование, стабильность температуры, долговременный эксперимент.

*I.P. Zharkov, V.A. Maslov,  
V.V. Safronov, V.A. Khodunov*

COSTE-EFFECTIVE UNIVERSAL  
TEMPERATURE-CONTROLLED CRYOSYSTEM  
FOR LONG-TERM EXPERIMENTS

With the purpose of hardware support of long-term research experiments at temperatures 1.6÷350 or 77÷350 K cost-effective universal temperature-controlled cryosystem, working both with liquid helium and with liquid nitrogen more than 48 hours and characterized by the temperature stabilization up to  $\pm 0,05$  K precision without modification of its construction is created. It is shown that the construction provides operation in a necessary temperature range with the accuracy up to  $\pm 0,05$  K at minimum consumption of cryocoolant.

*Key words:* cryosystem, nitrogen, helium, thermal control, temperature stability, long-term experiment.

Надійшла до редакції 06.04.10