

А.Г. Демішев

Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України,
просп. Науки, 46, Київ, 03028, Україна,
+380 44 524 04 80, +380 50 474 0166, ljatodem2016@ukr.net

КРІОГЕННА АВТОМАТИЗОВАНА УСТАНОВКА ДЛЯ АТЕСТАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ФІЛЬТРІВ ТА ФОТОПРИЙМАЧІВ «CRYO F – PHR»



Вступ. Стрімкий розвиток оборонних галузей техніки зумовив суттєву актуальність проблем атестації оптичних фільтрів та фотоприймачів.

Проблематика. Атестація характеристик оптичних фільтрів та фотоприймачів на метрологічному рівні є проблемою, оскільки результати вимірювань, отриманих в низці послідовних експериментів, взагалі порівняти практично не можливо.

Мета. Ідеальним рішенням сукупності зазначених проблем є створення кріогенної автоматизованої установки для атестації характеристик оптичних фільтрів та фотоприймачів в діапазоні температур 2,5–300 К в умовах одного експерименту.

Матеріали й методи. Матеріалом розробки є конструкція кріогенної частини установки, ефективність якої визначається аналізом теплового балансу модулів, та методика атестації фільтрів та фотоприймачів в умовах одного експерименту.

Результати. Розроблено та охарактеризовано установку «CRYO F–PHR», кріогенну частину якої виконано з функціонально завершених модулів касети з тримачем фотоприймачів, здатного до повного обертання, та модуля касети з фільтрами, також з можливістю повного обертання останньої. Кожен модуль з екранами захисту обладнано власною системою охолодження та утримання заданої температури, а також струмоз'ємниками й пристроями ідентифікації номера фотоприймача та фільтра в робочому положенні.

Висновки. Конструкція установки та відповідна методика досліджень забезпечують рішення всього комплексу проблем атестації характеристик оптичних фільтрів та фотоприймачів в діапазоні температур 2,5–300 К на метрологічному рівні в умовах одного експерименту та імітацію їхньої реальної роботи у штатному режимі. За наявними перевагами конструкції та оперативністю атестації в умовах одного експерименту запропонована установка суттєво перевищує відомі аналоги.

Ключові слова: установка кріогенна оптична, атестація характеристик оптичних фільтрів та фотоприймачів.

Суттєве значення у формуванні наукоємних високотехнологічних виробництв мають роботи у галузі кріогенного приладобудування зі створення приладів та випробування методики експерименту для дослідження властивостей оптичних матеріалів і розробок оптичних фільтрів та фотоприймачів з них. Дослідження характеристик оптичних матеріалів і виробів з них при кріогенних температурах є одні-

єю з найскладніших проблем фізичного експерименту.

Проектування конструкцій кріостатів базуються на низці досліджень [1, 2]. Суттєве значення при цьому має розробка методики розрахунку й створення комплексних установок та кріостатів з тривалим ресурсом роботи, що наведені в роботах [3, 4].

Провідними інститутами та фірмами світу розроблено й створено значну кількість різно-

манітних конструкцій наливних азотних та гелієвих кріостатів з регульованою температурою для дослідження характеристик оптичних фільтрів, фотоприймачів, лазерних та месбауєрівських досліджень.

Визначальним та суттєвим кроком стала розробка малогабаритних кріостатів безперервного потоку (т. зв. проточних) та відповідної методики експерименту, а подальшим проливом — створення конструкцій малогабаритних кріостатів на базі мікрокріогенних систем замкнутого циклу.

Таким чином, послідовно у кріогенному приладобудуванні сформувалося три напрямки для дослідження та атестації характеристик оптичних фільтрів і фотоприймачів, зокрема:

- † установки на базі наливних азотних або гелієвих кріостатів;
- † установки на базі малогабаритних азотних або гелієвих кріостатів безперервного потоку (проточних);
- † установки на базі мікрокріогенних систем замкнутого циклу.

Це переважно розробки провідних фірм світу та інститутів в Україні — *Oxford Instruments Limited*, *SHI Cryogenics* (США-Японія), *JANIS RESEARCH COMPANY, INC.* (США), *CryoMech* (США), *Sumitomo Cryogenics Group* (Японія), Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (Харків), Інститут фізики НАН України (ІФ НАНУ) (Київ) та Донецький фізико-технічний інститут НАН України ім. О.О. Галкіна (ДонФТІ НАНУ ім. О. О. Галкіна) (Донецьк), що наведені у відповідних публікаціях [5–10], каталогах і на сайтах установ.

Цілком природно, що конструкції кріостатів кожного з цих напрямків й відповідні методики експерименту мають свої переваги та недоліки, та, відповідно, свої сфери використання, в яких надалі успішно розвиваються. Авторське дослідження зосереджено на розробках малогабаритних проточних кріостатів для оптичних досліджень з метою атестації характеристик оптичних фільтрів та фото-

приймачів. При цьому слід зауважити про незаперечну користь досвіду, з точки зору відпрацювання конструкцій та методики експерименту й удосконалення відповідного програмного забезпечення, здобутого при створенні комплексних установок на базі наливних кріостатів з регульованою температурою, а також і оптичних досліджень в магнітному полі надпровідних соленоїдів, найбільш знакові з яких наведено у вище згаданих роботах. Неординарний варіант поєднання конструкцій наливного та проточного кріостатів для оптичних досліджень в магнітному полі надпровідного соленоїда розглянуто в роботі [11]. Ця ідея модульного принципу створення комплексної установки набула широкого застосування при формуванні низки базових лабораторій для досліджень у поздовжньому або поперечному магнітному полі. Кожна лабораторія створена на базі кріостата з тривалим ресурсом роботи, має наскрізний теплий отвір із вбудованою кріомагнітною системою зі звичайним соленоїдом або соленоїдом у вигляді кілець Гельмгольца. Також їх оснащено малогабаритним проточним кріостатом з декількома змінними тримачами зразків. Фактично малогабаритний проточний кріостат цього типу є незалежним функціональним модулем, що вільно вставляється в наскрізний теплий отвір кріостата. Особливо зручним є те, що, для зміни зразка не потрібне розхолодження кріомагнітної системи, а здійснюється лише розхолодження та розбирання проточного кріостата. При цьому, за необхідності, змінюється і тримач зразка, який встановлюється на теплообмінник та механічно кріпиться до нього. Корисними в аналізованих розробках, з точки зору авторського проекту, стали роботи з апробації методики вимірювання температури в динамічному процесі регулювання температури [12–14]. Повній автоматизації експерименту на установках сприяла розробка приладу для вимірювання рівня зрідженого гелію на базі надпровідного датчика рівня [15] та приладу для вимірювання та регулювання тем-

ператури на базі мікроЕВМ [16], який у подальшому удосконалено шляхом застосування вбудованої мікропроцесорної плати.

При створенні конструкції будь-якого з означених типів проблема забезпечення достовірності результатів вимірювань, при порівнянні близьких за параметрами оптичних характеристик фільтрів та фотоприймачів, виготовлених з ідентичних, а тим паче з різних, матеріалів та застосуванням подібних технологій на різних підприємствах, набуває особливої актуальності. Проблемність полягає в тому, що результати вимірювань, отримані як в низці послідовних експериментів на одному кріостаті, так і різними експериментаторами на різному обладнанні, а також із застосуванням різних технік експерименту, важко піддаються порівнянню, оскільки у послідовних експериментах температура фільтрів і фотоприймачів ідентифікується фактично за температурою їх тримачів. При прецизійних вимірюваннях не менш важливим є питання запобігання «засвічування» фотоприймача від навколишніх елементів конструкцій. В експериментах такого рівня вирішальним є забезпечення високого чистого вакууму, що запобігає випадінню кріоосадів на поверхнях фільтрів і фотоприймачів.

Першою основоположною в ДонФТІ НАНУ ім. О.О. Галкіна стала розробка кріостатів серії «Кріостат КП», що захищена авторським свідоцтвом [17]. Зовнішній вигляд кріостатів серії «Кріостат КП» наведено на рис. 1.

Кріостати забезпечують можливість дослідження коефіцієнта пропускання фільтрів в діапазоні температур 2,5–300 К при роботі зі зрідженим гелієм або 65–300 К при роботі зі зрідженим азотом. Кріостат став основою для комплектування дослідницьких установок з використанням серійних оптичних спектрофотометрів. На його базі створено ряд конструктивних модифікацій кріостатів для дослідження характеристик поодиноких круглих і клинових фільтрів, фотоприймачів та випромінювачів.

Рис. 1. Зовнішній вид кріостатів серії «Кріостат КП»



Значним кроком у вирішенні проблеми дослідження характеристик фільтрів і дзеркал в умовах одного експерименту стало створення малогабаритних кріостатів з регульованою температурою, оснащених декількома теплими вікнами на зовнішньому кожусі та механізмом часткового обертання тримача зі зразком. Серію кріостатів зазначеної конструкції представлено переважно на сайті фірми *Oxford Instruments Limited*.

Зовнішній вигляд попередніх розробок ДонФТІ НАНУ ім. О.О. Галкіна таких кріостатів моделей «а» та «б» проілюстровано на рис. 2.

Істотним кроком з вдосконалення конструкції стала розробка малогабаритних кріостатів серії «Кріостат КПО» моделі «в» (рис. 2), що наведена в авторському свідоцтві [18] та публікаціях [19, 20]. Зазначені кріостати обладнано входними та вихідними вікнами для виведення променя і механізмом часткового обертання тримача зі зразком. Це дозволяє здійснювати дослідження коефіцієнта дзеркального відбиття дзеркалом зондуючого променя при трьох фіксованих кутах 12, 45 і 60°. Водночас, у разі встановлення у тримач фільтра, з'являється можливість проводити дослідження як коефіцієнта пропускання, так і коефіцієнта дзеркального відбиття фільтром зондуючого променя в умовах одного експерименту. Це дозволяє здобути важливу інформацію для розробників відповідних початкових матеріалів та удосконалення технології вироблення оптичних фільтрів з них. Кріостати забезпечують можливість дослідження оптичних характеристик у діапазоні температур зразків 65–300 К при роботі зі зрідженим азотом або 2,5–300 К при роботі зі зрідженим гелієм.

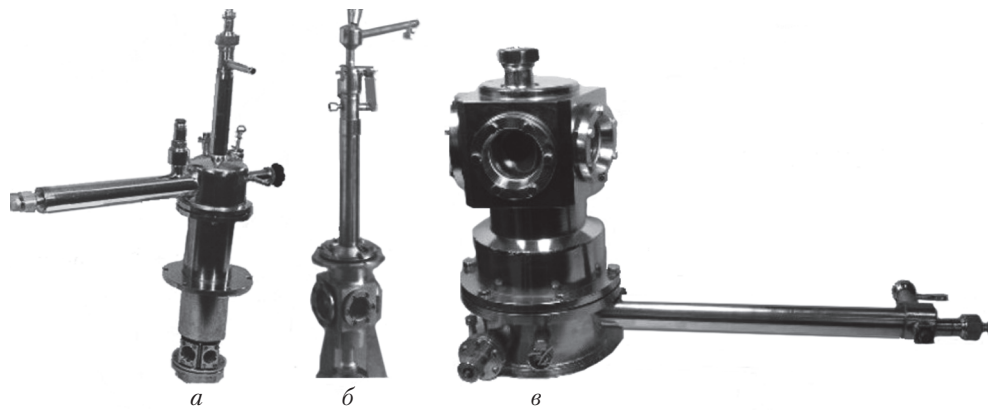


Рис. 2. Зовнішній вид криостатів: модель «а», «б» та «в»

В експериментах на криостатах обох серій показано ефективність усунення перевідбивання падаючого променя шляхом встановлення вхідного вікна під кутом понад 10° до осі променя. Важливим аспектом є й те, що неметалевий фільтр з відносно невисокою теплопровідністю встановлюється у металевий тримач та притискається до нього з помірною силою. В наслідок цього, при тривалому опромінюванні фільтра, навіть незначного розміру, по його товщині та радіусу встановлюється градієнт температури в межах декількох градусів. Для зниження або усунення цього ефекту у отворі захисного екрану встановлюється діафрагма-шторка, яка відкривається лише на період опромінювання зразка. Ці питання ґрунтовно розглянуто в роботі [20].

Прогресивним кроком стала також розробка унікальної криогенної автоматизованої установки для спектрофотометричних досліджень [21], криогенну частину якої наведено на рис. 3. Слід зазначити особливу цінність властивостей цієї установки, яка полягає в можливості вимірювання в умовах одного експерименту коефіцієнта пропускання фільтра або дзеркального відбиття та індикатрисі розсіювання зондуємого променя зразками (фільтр або дзеркало) для кутів від 0 до 90° (в обидва боки).

Незважаючи на очевидні переваги вище наведених розробок, слід відзначити їх характер-

ну особливість — всі вони призначені для дослідження характеристик одиничних зразків у серії послідовних експериментів зі зміною останніх шляхом розгерметизації криостата.

Наступним кроком у пошуку рішень з дослідження характеристик фільтрів та фотоприймачів в умовах одного експерименту стало створення криостата ФПУ, конструкція якого має як низку переваг, так і суттєвих недоліків. Так, тримач фотоприймача заохолоджується за допомогою холодопроводу та не захищений від теплоприпливів від оточуючих конструкцій, температура його не сягає нижче 10 К. Так само і касета з фільтрами не захищена від теплоприпливів з оточуючих конструкцій та заохолоджується за допомогою холодопроводу від власного теплообмінника, що охолоджується зворотним потоком холодоагенту з теплообмінника фотоприймача, температура її не сягає нижче 30 К.

Ідеальним рішенням комплексу завдань дослідження та атестації характеристик оптичних фільтрів і фотоприймачів стало створенням криогенної автоматизованої установки «КРІО F — РНР», яка призначена для вирішення всього комплексу проблем поліпшення характеристик наявних і створення нових оптичних матеріалів, удосконалення технологій виготовлення з них фільтрів і фотоприймачів, дослідження та атестації їх параметрів на метрологічному рівні в діапазоні темпера-

тур 2,5–300 К у видимій та інфрачервоній області спектра випромінювання в умовах одного експерименту. Установку розроблено за модульним принципом, базуючись на перевагах вище згаданих конструкцій кріостатів [22, 23]. Модель стала завершальною у відпрацюванні конструкції та методики експерименту з вивчення, в умовах одного експерименту, близьких за параметрами зразків фільтрів і фотоприймачів, виготовлених з ідентичних, або ж з різних матеріалів, із застосуванням схожих технологій на різних підприємствах. Нижче змістовно описано конструкцію лише кріогенної частини установки та методику експерименту з її використанням. Зовнішній вигляд кріогенної частини установки зображено на рис. 4.

Електронна частина конструкції створюється на широко поширених деталях різноманітних виробників та комплектується на розсуд та уподобання дослідника. Програмне забезпечення теж обирається індивідуально. Проте варто зазначити, що й електронна, й програмна частини виконуються дворівневими. Перший рівень — це базовий комп'ютер верхнього рівня, в якому формується програма експерименту та накопичення й аналіз результатів досліджень. Другий рівень — це прилади та їх програмне забезпечення, що призначені для прийняття команд комп'ютера верхнього рівня та відпрацювання їх. Схему конструкції кріогенної частини установки наведено на рис. 5.

У загальному розумінні, це дві взаємопов'язані функціонально завершені конструкції модулів з регульованою температурою, зібрані в єдиному герметичному кожусі зі змінним теплим входним вікном. Це модуль (1) касети з тримачем фотоприймачів, який має власний привод (12) та може повністю обертатися. Касета оточена роз'ємним захисним екраном (17), який підтримується практично при тій же температурі за допомогою власного вбудованого пасивного теплообмінника (8) зворотним потоком холодоагенту з виходу теплооб-

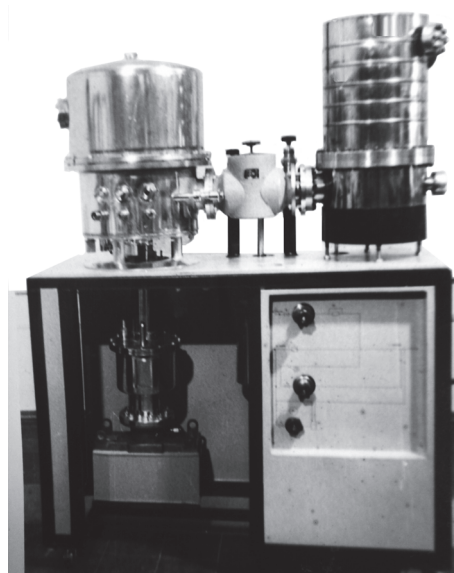


Рис. 3. Зовнішній вигляд кріогенної частини автоматизованої установки для спектروفотометричних досліджень

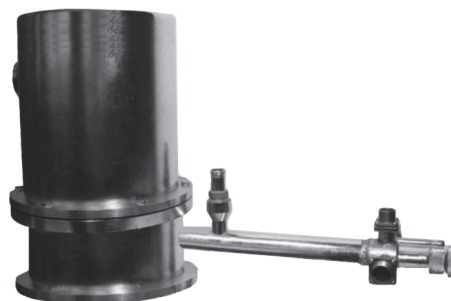


Рис. 4. Зовнішній вигляд кріогенної частини установки «KPIO F – PHR»

мінника (18) касети. Це модуль (2) касети з фільтрами, що повністю обертається, та має власну систему термостатування з екранами. Заміна входного вікна, комплектів фотоприймачів і фільтрів здійснюється шляхом розгерметизації кріостата.

Конструктивно й функціонально системи регулювання температури касети тримача з фотоприймачами і касети з фільтрами виконано повністю незалежними. Безпосередньо системи регулювання температури сконструйовано тріступінчатими. Перші ступені — це основні теплообмінники (13) касети тримача

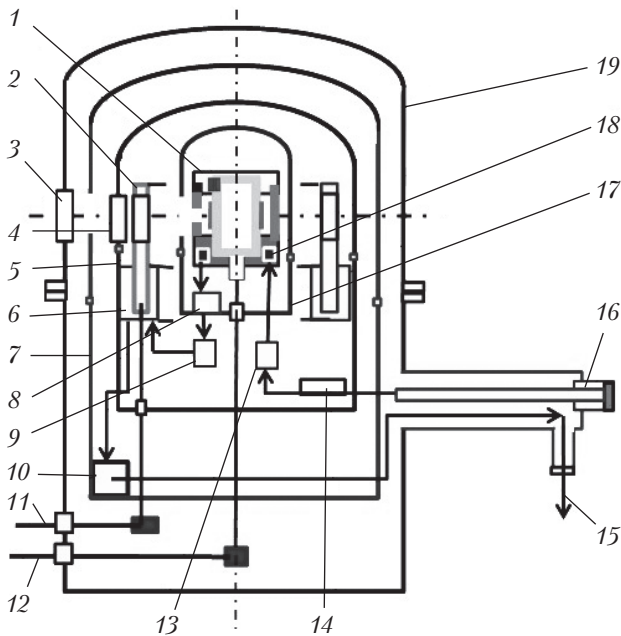


Рис. 5. Схема конструкції криогенної частини установки: 1 – касета фотоприймачів; 2 – касета фільтрів; 3 – вікно вхідне; 4 – діафрагма-шторка; 5 – несучий екран касети фільтрів; 6 – теплообмінник другої ступені касети фільтрів; 7 – захисний екран касети фільтрів; 8 – теплообмінник третьої ступені касети фотоприймачів; 9 – теплообмінник першої ступені касети фільтрів; 10 – теплообмінник захисного екрану касети фільтрів; 11 – привід обертання касети фільтрів; 12 – привід обертання тримача фотоприймачів; 13 – теплообмінник першої ступені касети фотоприймачів; 14 – криосорбційний насос; 15 – канал випускання пари; 16 – канал подачі холодоагента; 17 – екран касети фотоприймачів; 18 – теплообмінник касети фотоприймачів; 19 – кожух з’ємний

фотоприймачів та касети фільтрів з вбудованими нагрівачами (9), які призначені для забезпечення і стабілізації заданої температури холодоагента та подавання його до теплообмінників другої ступені. Другі ступені – це пасивні теплообмінники (18) касети тримача з фотоприймачами і касети з фільтрами (6), що призначені для термостатування касети фотоприймачів і касети фільтрів відповідно до заданої температури. Треті ступені – це теж пасивні теплообмінники (8, 10), призначені для утримання відповідних захисних екранів за температури відповідного йому робочого елементу

(касети з фільтрами та тримача фотоприймачів). Зріджений гелій в систему регулювання температури подається каналом подачі (16) по переливному сифону шляхом прокачування вакуумним насосом або продуванням за рахунок надлишкового тиску, що створюється у транспортній посудині Дьюара. Вихідну частину каналу випуску (15) обладнано нагрівачем, що запобігає небажаному обмерзанню та зволоженню останнього. Попереднє відкачування криостата здійснюють за допомогою зовнішнього обладнання. У процесі експерименту високий вакуум в системі, що запобігає випаданню криоосадів на поверхнях фотоприймачів, фільтрів і вікна, забезпечується завдяки вбудованому криосорбційному насосу (14), що охолоджується потоком подачі холодоагента (зріджений гелій або азот).

Модуль касети фільтрів (2), наведений на рис. 5, складається з власне касети з комплектом фільтрів, що розміщена на внутрішній поверхні несучого її екрану (5) у корпусі власного теплообмінника (6), що термостатується потоком холодоагента з теплообмінника (9). Кожен фільтр, призначений для дослідження в наступному експерименті, попередньо монтується у тримач-обойму відповідного розміру, котрий потім монтується у комірку касети. Завдяки цьому в касету одночасно можуть вставлятися декілька фільтрів різного розміру. Модуль оснащено пристроями для ідентифікації номера відповідного фільтра в робочій позиції. Несучий екран (5) обладнано діафрагмою-шторкою (4) та облаштовано власним пасивним теплообмінником (6). Цей екран виконує функції механічного кріплення касети з фільтрами з можливістю її обертання, термостатування та захисту від теплоприпливів від навколишніх елементів конструкцій. Одночасно цей екран також виконує функцію захисту екрану (17) касети з фотоприймачами від теплоприпливів від навколишніх елементів конструкцій. Фільтри, різні за діапазоном пропускання, можуть змінюватися в робочій позиції безпосередньо в процесі експеримен-

ту шляхом повного обертання касети в обидва напрямки власним приводом (11). Холодоагент в теплообмінник (9) першої ступені з вбудованим нагрівачем системи регулювання температури касети з фільтрами подається по каналу з виходу теплообмінника (8) касети фотоприймачів. У свою чергу, екран (5) оточений ще власним захисним екраном (7), який термостатується теплообмінником (10) зворотнім потоком холодоагента з пасивного теплообмінника (6). Після теплообмінника (10) захисного екрана зворотний потік газу виводиться назовні.

Схема конструкції модуля касети з тримачем фотоприймачів наведена на рис. 6. Модуль складається з корпусу (6) з вбудованим пасивним теплообмінником (7), його кришки (1), вбудованого оборотного тримача (3) з фотоприймачами (4) і власною системою термостатування з екранами. Кришка (1) касети обладнана струмоз'ємниками і пристроями (2) для ідентифікації відповідного номера фотоприймача у тримачі у робочій позиції. Фотоприймачі розташовані на гранях тримача. У вхідному отворі корпусу касети розташовано діафрагму-шторку (5) для регулювання отвору пропускання зондуючого променя. Вбудований пасивний теплообмінник (7) призначено для термостатування тримача з фотоприймачами за заданої температури. Холодоагент потрібної температури в теплообмінник (7) подається з активного теплообмінника першої ступені системи регулювання температури фотоприймачів. Корпус касети виконує функції теплообмінника тримача з фотоприймачами та його екрана, що захищає від теплоприпливів і перегріву їх, а також від засвічування від оточуючих елементів конструкцій. Загалом це забезпечує практично відсутність теплоприпливів до касети та, відповідно, перегрівання фотоприймачів, що гарантує відповідність температури фотоприймачів вимірюваній температурі касети. Повне обертання тримача в обох напрямках здійснюється за допомогою ведучого вузла (8).

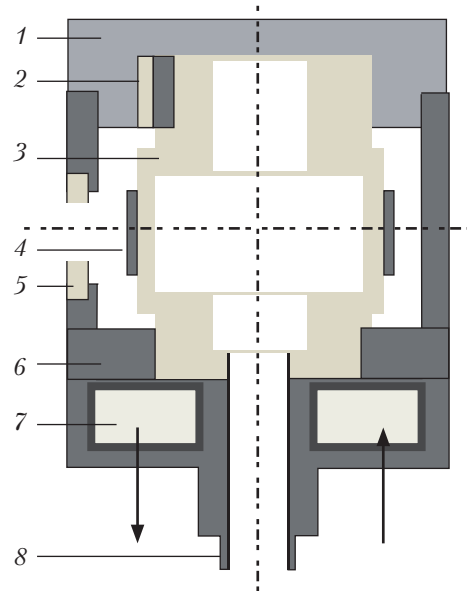


Рис. 6. Схема конструкції модуля касети з тримачем фотоприймачів: 1 – кришка касети; 2 – пристрій індикатора номера фотоприймача; 3 – тримач з фотоприймачами; 4 – фотоприймач; 5 – діафрагма; 6 – корпус касети; 7 – пасивний теплообмінник; 8 – привід обертання

У роботі на установці, в умовах одного експерименту, передбачено два взаємообумовлені режими. Це режим атестації характеристик холодних фільтрів та режим атестації характеристик холодних фотоприймачів. На кожусі, як вхідне вікно, встановлюють фільтр максимального пропускання в діапазоні зондуючого променя. В касету фільтрів розміщено комплект фільтрів, характеристики яких заплановано атестувати. З метою визначення порівняльних характеристик комплект доцільно складати з фільтрів, виготовлених з ідентичного матеріалу в різний час на одному та на різних виробництвах за тієї ж ідентичною технологією, відповідно по декілька фільтрів з кожного. Також поряд доцільно розташувати комплект фільтрів, виготовлених з іншого матеріалу, на інших виробництвах, в різний час за іншою технологією, відповідно теж по декілька фільтрів. Поруч у комірках касети встановлюють тестові фільтри з раніше атестованими характеристиками. В отворі несучого екрану касети фільтрів розміщується звичай-

на діафрагма-шторка. Аналогічно у тримач касети фотоприймачів встановлюють комплект фотоприймачів, характеристики яких необхідно атестувати. Цей комплект також доцільно складати з фотоприймачів, виготовлених з ідентичного матеріалу в різні часи на одному і на різних виробництвах за власною технологією, відповідно по декілька приймачів з кожного. Також поруч розташовують фотоприймачі, виготовлені з іншого матеріалу і на інших виробництвах за власною технологією, теж відповідно по декілька фотоприймачів. Одночасно в тримач встановлюють декілька тестових фотоприймачів з раніше атестованими характеристиками, прийнятними для обраної мети. У разі встановлення в робочому положенні касети фільтрів комірки зі звичайною діафрагмою-отвором, створюється можливість послідовного дослідження характеристик всіх фотоприймачів у всьому спектральному діапазоні перепуску теплого вхідного вікна. Завдяки можливості регулювання отвору діафрагми касети фотоприймачів створюється можливість дослідження відомого ефекту підвищення гостроти зору при зменшенні отвору зору. Крім того, у касеті передбачено спеціальну контрольну позицію для послідовної установки в ній фотоприймачів, забезпечуючи відсутність опромінення їх. Це створює можливість дослідження власних (шумових) характеристик всіх фотоприймачів і всього вимірювального каналу.

Таким чином, конструкція криогенної автоматизованої установки «CRYO F — PHR», криогенна частина якої створена за модульним принципом з функціонально завершених модулів касети з повністю рухомим тримачем фотоприймачів та модуля касети з фільтрами, що може повністю обернутися, забезпечує можливість послідовної незалежної зміни фільтрів та фотоприймачів у робочій позиції та незалежного регулювання їх температури. Реалізована з її допомогою методика автоматизованого управління експериментом забезпечує можливість проведення тривалих і об'ємних досліджень

за заданою програмою. Завдяки означеним властивостям конструкції установки й техніки експерименту забезпечується можливість атестації, на метрологічному рівні, характеристик фільтрів та надчутливих фотоприймачів з надвеликою роздільною здатністю в ідентичних умовах одного експерименту в діапазоні температур 2,5–300 К у всьому спектральному діапазоні зондуючого променя.

За необхідності температуру касети з фотоприймачами можливо знизити до 1,5 К. Також, за потреби, установку можна переналаштувати на роботу на зрідженому азоті за температури 65–300 К.

Водночас, вище наведені властивості установки забезпечують вирішення всього комплексу проблем дослідження порівняльних характеристик матеріалів і технологій виготовлення з них фільтрів та фотоприймачів. У підсумку, це дає можливість подальшого обґрунтованого вдосконалення матеріалів та технологій виготовлення з метою створення фотоприймачів і фільтрів з підвищеними параметрами.

Особлива цінність переваг конструкції установки і методики експерименту важлива для розв'язання завдань оборонних галузей з відбору та метрологічної атестації параметрів штатних зразків фільтрів і надчутливих фотоприймачів з надвеликою роздільною здатністю. В цьому сенсі важлива можливість, в процесі цього експерименту, неодноразової перевірки характеристик фільтрів та фотоприймачів, відібрати найбільш перспективні пари фільтр-фотоприймач. В підсумку це дозволяє імітувати реальну роботу як поодиноких фільтрів і фотоприймачів, так і відібраної їх пари в штатному режимі, та сформулювати їх метрологічний паспорт на весь діапазон прийому корисного сигналу випромінювання.

Варто також зазначити, що для вирішення більш обмежених завдань розроблено ще дві модифікації установок, конструкція криостатів та відповідна техніка експерименту й програмне забезпечення яких значно спрощені.

По-перше, це установка для атестації характеристик партії фільтрів. Конструкція спрощена за рахунок того, що замість здатного до обертання тримача фотоприймачів в касеті (рис. 6) передбачено тільки нерухомий тримач (3) з тестовим фотоприймачем (4). Відповідно, в установці немає приводу обертання тримача фотоприймачів і пристроїв для індикації номера фотоприймача в робочій позиції, тож і техніка експерименту, і програмне забезпечення є спрощеними.

Другою є установка для атестації характеристик партії фотоприймачів. Конструкція спрощена за рахунок того, що замість здатної до обертання касети фільтрів (2) (рис. 5) на несучому екрані (5) в теплообміннику (6) передбачено тільки нерухомий тримач з отвором. У разі потреби в цей отвір може встановлюва-

тися тестовий фільтр. Відповідно, в установці немає приводу обертання касети з фільтрами і пристроїв для індикації номера фільтра в робочій позиції, тож, відповідно, спрощеною є техніка експерименту й програмне забезпечення.

Автор висловлює глибоку вдячність всім співробітникам відділу кріогенного приладобудування Спеціального конструкторсько-технологічного бюро ДонФТІ НАНУ ім. О.О. Галкіна за вагомий внесок у створення та впровадження всіх наведених розробок протягом тривалого часу. Натурні діючі зразки кріостатів серій «Кріостат КП», «Кріостат КПО» та кріостат «ФПУ» з проспектами представлено в музеї Інституту та на сайті Інституту в розділі розробок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Справочник по физико-техническим основам криогеники.* Москва: Энергоатомиздат, 1985. 431 с.
2. Каганер М.Г. *Тепломассообмен в низкотемпературных конструкциях.* Москва: Энергия, 1979. 255 с.
3. Демишев А.Г. Исследование теплообмена в горловине, методика расчета и разработка криостатов и комплексных криогенных систем: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Харьков, 1980. 22 с.
4. Галкин А.А., Курочкин В.И., Демишев А.Г., Суплин В.З., Пельх Д.П. Исследование теплообмена и создание криостатов с длительным ресурсом работы. *Доклады АН УССР. Серия А — Физико-математические и технические науки.* 1982. № 8. С. 55–58.
5. А.с. СССР №436334, МКИ G05d 23/30, G05d 16/06. Терморегулируемое криостатное устройство / В.С. Медведев, В.М. Ермаков, П.В. Водолазский, В.Б. Подолыч, А.Г. Чмуль, А.Ф. Прокопюк. Заяв. 03.12.1970; опубл. 15.07.1974, Бюл. № 26.
6. Жарков І.П., Іващенко О.М., Погребняк С.В., Сафронов В.В. Оптимізація регулювання температури у рідинно-проточних кріостатах. *УФЖ.* 2010. Т. 55, № 3. С. 351–356.
7. Демишев А.Г., Унесихин Н.Е., Суплин В.З., Пишванова Н.А., Гуртяк А.А., Бородин Н.Н. Гелиевые криостаты единой серии «КГ». *ПТЭ.* 1982. № 4. С. 244.
8. Демишев А.Г., Гуртяк А.А. Азотные криостаты для фотоприемных устройств. *Оптико-механическая промышленность.* 1991. № 6. С. 45–48.
9. Демишев А.Г., Суплин В.З., Наймушин Е.А., Гуртяк А.А., Сильченко В.А., Пелих Н.И. Криогенная система с регулируемой температурой для исследования неупругого рассеяния нейтронов в магнитном поле. *Вопросы атомной науки и техники.* Серия «Общая и ядерная физика». 1981. Выпуск 3 (17). С. 72–74.
10. Беляева Л.И., Силаев В.И., Стеценко Ю.Е. *Проточные криостаты для лабораторных исследований.* Киев: Наукова думка, 1987.
11. Демишев А.Г., Пельх Д.П., Ратманский Д.С., Бородин Н.Н., Золотухин А.А. Криостат непрерывного потока для оптических и лазерных исследований. *ПТЭ.* 1980. № 5. С. 258.
12. Зикеев П.Е., Демишев А.Г. Восстановление значений метрологических характеристик криостатов по эмпирическим данным. *Сборник «III Всесоюзное совещание по теплофизическим измерениям и их метрологическому обеспечению»* (Москва, 1982). С. 14–16.
13. Демишев А.Г., Суплин В.З., Бородин Н.Н., Ширков А.К., Дубинский С.И. Математическое моделирование и экспериментальное исследование динамики изменения температуры криогенных систем. *Сборник «Всесоюзная научная конференция «Температура-84» — состояние и перспективы развития средств измерения температуры контактными и бесконтактными методами»* (Львов, 1984). Том 1. С. 247.

14. Зикеев П.Е., Демішев А.Г. Определение и оптимизация динамических характеристик криостатных систем. Стандартизация и метрология. *Материалы III Всеакадемической школы по проблемам стандартизации и метрологии* (Тбилиси, 1985). С. 193–200.
15. Савченко А.Г., Ширков А.К. Датчик уровня жидкого гелия. *ПТЭ*. 1982. № 2. С. 232.
16. Демішев А.Г., Пелих Н.И., Гайдуков Л.Я., Прошкуратов Н.В., Костянок Н.В., Петушков Г.И. Прибор для измерения и регулирования температуры на базе микроЭВМ. *Сборник «Всесоюзная научная конференция «Температура-84» – состояние и перспективы развития средств измерения температуры контактными и бесконтактными методами»* (Львов, 1984). Том 2. С. 146.
17. А.с. СССР 885692 МКС5 F 17 C 7/02//F25 D 3/10/. Криостат / Д.П. Пелых, А.Г. Демішев, Д.С. Ратманский, В.З. Суплин. № 2862633, заяв. 03.01.80, опубл. 30.11.81, Бюл. № 44.
18. А. с. СССР, 1286870 МКС5 F 17 C 13/087//F25 D 3/10/. Криостат / А.Г. Демішев, Д.П. Пелых, В.З. Суплин. №3888284, заяв. 24.04.85, опубл. 30.01.87, Бюл. № 4.
19. Демішев А.Г., Пелых Д.П., Ширков А.К., Воробьев В.Г., Суплин В.З., Зикеев П.Е., Дубинский С.И., Юшко Т.Т. Криогенная автоматизированная установка для спектрофотометрических исследований. *Оптико-механическая промышленность*. 1988. № 3. С. 26–29.
20. Демішев А.Г., Пелых Д.П., Ширков А.К., Уксусова С.А., Дубинский С.И. Малогабаритные криостаты с регулируемой температурой для оптических исследований. *Оптический журнал*. 1992. № 3. С. 64–68.
21. А. с. СССР, 1778641 МКС5 G 01 N 21/55. Устройство для низкотемпературных измерений оптических характеристик образцов / А.Г. Демішев, В.Г. Воробьев, Д.П. Пелых, А.К. Ширков. №4854050, заявл. 24.06.90, опубл. 30.11.92, Бюл. № 44.
22. *Патент України № 84158 МПК (2013 01) F25B 29/00*. Демішев А.Г. КРІОСТАТ КРІО – ФІЛЬТР-ФОТОПРИЙМАЧ.
23. *Патент України № 104700 МПК-12 F 25 B 29/00*. Демішев А.Г. Кріокомплекс для атестації оптичних фільтрів та фотоприймачів.

Стаття надійшла до редакції 20.06.18

REFERENCES

1. *Handbook of physico-technical fundamentals of cryogenics*. (1985). Moscow: Energoatomizdat.
2. Kaganer, M. G. (1979). *Heat and mass transfer in low-temperature structures*. Moscow: Energiya, 1979.
3. Demichev, A. G. (1980). *Investigation of heat transfer in the neck, method of calculation and development of cryostats and cryogenic systems*. PhD (Techn.). Kharkov [in Russian].
4. Galkin, A. A., Kurochkin, V. I., Demeshev, A. G., Suplin, V. Z., Pelich, D. P. (1982). Study of heat transfer and the creation of cryostats with long service life. *Doklady AN USSR. Series A-Physical, mathematical and technical Sciences*, 8, 55–58.
5. A. s. USSR №436334, MKI G05d 23/30, G05d 16/06. Temperature-controlled cryostat device. V. S. Medvedev, V. M. Ermakov, P. V. Vodolazsky, V. B. Podolich, A. G. Gohmul, V. H. Gohman, A. F. Prokopiuk. Declared 03.12.1970, publ. 15.07.1974, bull. No. 26.
6. Zharkov, I. P., Vashenko, O. M., Pogrebnyak, S. V., Safronov, V. V. (2010). Optimizer reguluvannya temperature have liquid-running cryostats. *UFJ*, 55(3), 351–356.
7. Demichev, A. G., Unesichin, N. E., Suplin, V. Z., Pishvanova, N. A., Hurtjak, A. A., Ponomarenko, A. N., Borodina N. N. (1982). Helium cryostats single series “KG”. *PTE*, 4, 244.
8. Demichev, A. G., Hurtjak, A. A. (1991). Nitrogen cryostats for photodetectors. *Opto-mechanical industry*, 6, 45–48.
9. Demichev, A. G., Suplin, V. Z., Naymushin, A. E., Hurtiak, A. A., Silchenko, V. A., Pelich, N. I. (1981). The cryogenic system with adjustable temperature studies inelastic neutron scattering in a magnetic field. *Questions of atomic science and technology, Series – General and nuclear physics*, 3(17), 72–74.
10. Belyaeva, L. I., Silaev, V. I., Stetsenko, Yu. E. (1987). *Runing cryostats for laboratory studies*. Kiev: Naukova dumka.
11. Demichev, A. G., Pelih, D. P., Ratmansky, D. S., Borodina, N. N., Zolotuhin, A. A. (1980). Continuous flow Cryostat for optical and laser research. *PTE*, 5, 258.
12. Zikeev, P. E., Demishev, A. G. (1982). Restoration of values of metrological characteristics of cryostats from empirical data. *Collection “III All-Union meeting on thermophysical measurements and their metrological support”* (Moscow, 1982). P. 14–16.
13. Demishev, A. G., Suplin, V. Z., Borodina, N. N., Shirkov, A. K., Dubinsky, S. I. (1984). Mathematical modeling and experimental study of the temperature change dynamics of cryogenic systems. *Collection “All-Union scientific conference “Temperature-84” - status and prospects of development of temperature measuring means by contact and non-contact methods”* (Lviv, 1984). Volume 1. P. 247.

14. Zikeev, P. E., Demichev, A. G. (1985). Determination and optimization of the dynamic characteristics of the cryostat systems. Standardization and Metrology. *Materials of III All-Academic school on standardization and Metrology* (Tbilisi, 1985). P. 193–200.
15. Savchenko, A. G., Shirkov, A. K. (1982). Liquid helium level Sensor. *PTE*, 2, 232.
16. Demichev, A. G., Pelich, N. I., Gaidukov, L. J., Proshkuratov, N. V., Kostianok, N. V., Petushkov, G. I. (1984). Device for measuring and regulating temperature on the basis of microcomputers. *Collection "All-Union scientific conference "Temperature-84" - status and prospects of development of temperature measuring means by contact and non-contact methods"* (Lviv, 1984). Volume 2. P. 146.
17. *A. s. of the USSR, 885692 MKC5 F 17 C 7/02//F25 D 3/10/*. Cryostat. D. P. Pelich, A. G. Demichev, D. S. Ratmanskyy, V. S. Suplin. No. 2862633; stated 03.01.80, publ. 30.11.81, bull. No. 44.
18. *A. s. of the USSR, 1286870 MKC5 F 17 C 13/087//F25 D 3/10/*. Cryostat. A. G. Demichev, D. P. Pelih, V. S. Suplin. No. 3888284; stated 24.04.85, publ. 30.01.87, bull. No. 4.
19. Demichev, A. G., Pelich, D. P., Shirkov, A. K., Vorobev, V. G., Suplin, V. S., Zikeev, P. E., Dubinsky, S. I., Jusko, T. T. (1988). Automated Cryogenic installation for spectrophotometric studies. *Optical-mechanical industry*, 3, 26–29.
20. Demichev, A. G., Pelih, D. P., Shirkov, A. K., Uksusova, S. A., Dubinsky, S. I. (1992). Compact cryostats with variable temperature for optical studies. *Optical journal*, 3, 64–68.
21. *A. s. of the USSR, 1778641 MKC5 G 01 N 21/55*. Device for low-temperature measurements of optical characteristics of the samples. A. G. Demichev, V. G. Vorobev, D. P. Pelih, A. K. Shirkov. No. 4854050; stated 24.06.90, publ. 30.11.92, bull. No. 44.
22. *Patent of Ukraine No. 84158 IPC (2013 01) F25B 29/00*. Damishev A. G. CRYOSTAT CRYO – FILTER – PHOTOREGISTER.
23. *Patent of Ukraine No. 104700 IPC-12 F 25 B 29/00*. Damishev A. G. Cryococomplex for assessment of optical filters and photoregisters.

Received 20.06.18

Demishev, A.G.

Galkin Physical-Technical Institute of the NAS of Ukraine,
46, prospekt Nauki, Kyiv, 03028, Ukraine,
+380 44 524 0480, +380 50 474 0166, ljatodem2016@ukr.net

**CRYO F – PHR AUTOMATED CRYOGENIC
INSTALLATION FOR CERTIFYING THE CHARACTERISTICS
OF OPTICAL FILTERS AND PHOTODETECTORS**

Introduction. Defense technology industries rapidly growing, the problem of certification of optical filters and photodetectors becomes very relevant.

Problem Statement. Certification of the characteristics of optical filters and photodetectors at the metrological level is complicated by the fact that measurement results obtained in a series of consecutive experiments are practically incomparable.

Purpose. An ideal solution of the whole complex of problems is to create an automated cryogenic installation for certifying the characteristics of optical filters and photodetectors within the temperature range from 2.5 to 300 K, in single experiment.

Materials and Methods. The material of this research is a design of the cryogenic part of the installation. Its efficiency is determined by analyzing the thermal balance modules and by the method of certification of filters and photodetectors in single experiment.

Results. CRYO F – PHR installation has been proposed, its cryogenic part consists of a functionally completed fully rotating cassette module with a holder of photoelectric sensors and a module with fully rotating cassette with filters. Each module has shields and is equipped with its own system for cooling and maintaining the desired temperature, as well as with current collectors and identifiers of the number of photodetector and filter in the operating position.

Conclusions. The installation design and the corresponding research methodology provide a solution to the whole complex of problems related to certifying the parameters of optical filters and photodetectors in the temperature range from 2.5 to 300K, at the metrological level, in single experiment and simulating their real operation in normal conditions. Due to advantages of the design and efficiency of certification in a single experiment, the proposed installation significantly surpasses the known analogs.

Keywords: cryogenic optical installation, certification of the parameters of optical filters and photodetectors.

А.Г. Демішев

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины,
просп. Науки, 46, Киев, 03028, Украина,
+380 44 524 0480, +380 50 474 0166, ljatodem2016@ukr.net

**КРИОГЕННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ
И ФОТОПРИЁМНИКОВ «CRYO F – PNR»**

Введение. Стремительный рост оборонных отраслей техники обусловил существенную актуальность проблем аттестации оптических фильтров и фотоприемников.

Проблематика. Аттестации характеристик оптических фильтров и фотоприемников на метрологическом уровне является проблемой, так как результаты измерений, полученных в ряде последовательных экспериментов, сравнить практически невозможно.

Цель. Идеальным решением совокупности определенных проблем является создание криогенной автоматизированной установки для аттестации характеристик оптических фильтров и фотоприемников в диапазоне температур 2,5–300 К в условиях одного эксперимента.

Материалы и методы. Материалом разработки является конструкция криогенной части установки, эффективность которой определяется анализом теплового баланса модулей, и методикой аттестации фильтров и фотоприемников в условиях одного эксперимента.

Результаты. Разработана и охарактеризована установка «CRYO F – PNR», криогенная часть которой выполнена из функционально завершенных модуля кассеты с полностью вращаемым держателем фотоприемников и модуля полностью вращаемой кассеты с фильтрами. Каждый модуль с экранами защиты обустроен собственной системой охлаждения и поддержания заданной температуры, а также токосъемниками и устройствами идентификации номера фотоприемника и фильтра в рабочем положении.

Выводы. Конструкция установки и соответствующая методика исследований обеспечивают решение всего комплекса проблем аттестации характеристик оптических фильтров и фотоприемников в диапазоне температур 2,5–300 К на метрологическом уровне в условиях одного эксперимента и имитацию их реальной работы в штатном режиме. По существующим достоинствам конструкции и оперативностью проведения аттестации в условиях одного эксперимента предложенная установка существенно превосходит известные аналоги.

Ключевые слова: установка криогенная оптическая, аттестация характеристик оптических фильтров и фотоприемников.