

**І.П. Жарков¹, В.В. Сафронов¹, В.О. Ходунов¹,
В.М. Коновал¹, В.О. Маслов¹, О.В. Селіванов¹, А.Г. Солонецький¹,
В.В. Стрельчук², А.С. Ніколенко², Б.І. Циканюк²**

¹ Інститут фізики НАН України,
пр. Науки, 46, Київ, 03028, Україна,
+380 44 525 1220, +380 44 525 1589, fizyka@iop.kiev.ua

² Інститут фізики напівпровідників НАН України,
пр. Науки, 41, Київ, 03028, Україна,
+380 44 525 4020, +380 44 525 83429, info@isp.kiev.ua

КОМПЛЕКС КРІОГЕННОЇ АПАРАТУРИ ДЛЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ФУР'Є-СПЕКТРОМЕТРА **BRUKER VERTEX 70v**



Вступ. Відомо, що інфрачервоний Фур'є-спектрометр Bruker Vertex 70v є приладом дослідницького класу з високою роздільною здатністю, проте є високовартісним. Виробниками приладу, завдяки кооперації із західними партнерами, передбачено збільшення його функціональних можливостей за допомогою додаткових приставок до спектрометра та оснащення кріостатами продувного типу для температурнозалежних вимірювань.

Проблематика. Додаткова імпортована апаратура виготовляється стандартною, не враховуючи особливості кожного експерименту і, в свою чергу, має високу ціну. Тому завдання розширення функціональних можливостей спектрометра вітчизняними засобами замість імпортованих є актуальним.

Мета. Розробка конструкції та виготовлення комплексу кріогенної апаратури для розширення функціональних можливостей інфрачервоного Фур'є-спектрометра Vertex 70v виробництва Bruker (Німеччина).

Результати. Створено комплекс кріогенної апаратури у складі терморегульованої у діапазоні 2,2–330 К кріосистеми на базі гелієвого кріостата рідинно-проточного типу з набором спеціалізованих маніпуляторів, а також терморегульованої у діапазоні 80–500 К кріосистеми на базі комбінованого азотного кріостата з вакуумним холопроводом проточного типу та інтегрованим резервуаром рідкого кріоагента. Розроблений комплекс кріогенної апаратури є повністю адаптованим для роботи з інфрачервоним Фур'є-спектрометром Bruker Vertex 70v та забезпечує можливість проведення температурнозалежних вимірювань спектрів інфрачервоного пропускання, відбивання та фотолюмінесценції.

Висновки. Характеристики розроблених кріосистем за функціональними показниками не поступаються кращим західним аналогам, а за витратами кріоагента мають суттєві переваги.

Ключові слова: Фур'є-спектрометр, терморегульовані гелієва, азотна кріосистеми.

Інфрачервоний Фур'є-спектрометр Bruker Vertex 70v є приладом дослідницького класу з високою роздільною здатністю, проте є високовартісним. Тому завдання розширення

його функціональних можливостей вітчизняними силами є актуальним. Виробники приладу, у кооперації із західними партнерами, передбачали можливість розширення його функціональних можливостей за допомогою додаткових приставок до спектрометра та оснащення кріостатами продувного типу з охолодженням зразка парами кріоагента мар-

ки *OptistatCF* (Oxford Instruments, Великобританія) [1] чи марки *ST-100-FTIR* (Janis, США) [2] у разі роботи з рідким гелієм, або відповідно *OptistatDN* [3] і *VNF-100* [4] тих же виробників — у разі роботи з рідким азотом. У випадку розміщення зразка у вакуумі запропоновано конструкції *OptistatDN-V* [5] та *VPF-100* відповідно [6]. У всіх зазначених криостатних системах терморегуляцію побудовано на принципі прокачування кріоагента через термостатовану камеру криостату та його нагрівання при прокачці. Прокачування створює вібрації досліджуваного зразка в процесі вимірювань, що є істотним недоліком для спектральних вимірювань.

Як раніше повідомлялося [7], з метою розширення функціональних можливостей інфрачервоного Фур'є-спектрометра *Vertex 70v* виробництва *Bruker* (Німеччина) було розроблено конструкцію і виготовлено вакуумований Г-подібний модуль-приставку до зазначеного спектрометра з можливістю встановлення і юстування оптичних дзеркал діаметром до 50 мм та приєднання до модуля терморегульованого в діапазоні 2,2–330 К гелієвого криостату рідинно-проточного типу, для якого відсутні вказані вище недоліки. Також для модуля-приставки виготовлено спеціалізовані маніпулятори [8] для виконання магнітотехнічних електрооптичних досліджень при низьких температурах. Проте є низка завдань, які, з одного боку, не потребують температур нижче температури рідкого азоту, а з іншого боку, потребують температур, вищих від кімнатної. Такі вимірювання можуть бути корисними, наприклад, для дослідження температурної залежності ширини забороненої зони напівпровідникових матеріалів, процесів ангармонізму фононів, структурних та фазових переходів в неорганічних та органічних сполуках, процесів температурнозалежної взаємодії між складними полімерами, кінетики хімічних реакцій тощо. На жаль, розроблений раніше криостат такої можливості не дає. З цієї причини виникла потреба створення допоміж-

ного терморегульованого в діапазоні 80–500 К криостату проточного типу з розташуванням зразка у вакуумній камері спектрометра, для якого були б відсутні будь-які вібрації та втрати корисного оптичного сигналу внаслідок його відбивання та поглинання оптичними вікнами криостату.

Оскільки іноземні виробники криостатів проточного типу як джерело кріоагента використовують зовнішню посудину для зберігання кріоагента, а для його прокачки через криостат і через насос — гнучкі металорукави, через які вібрація передається на криостат, то, з урахуванням наробок [9, 10], було прийнято рішення використати як джерело кріоагента резервуар, інтегрований в криостат, з якого кріоагент під дією створюваного тиску може прокачуватися через камеру термостатування. Функціональна схема системи створення надлишкового тиску та його підтримки проілюстрована на рис. 1.

Система підтримки тиску містить індуктивний датчик тиску, генератор-дискримінатор, підсилювач потужності, випаровувач, компаратор захисту, датчик рівня рідкого кріоагента. Індуктивний датчик тиску містить котушку індуктивності з феритовим стержнем. Зміна тиску газоподібного кріоагента призводить до переміщення феритового стержня, і, відповідно, до зміни індуктивності котушки, що, в свою чергу, спричиняє зміну частоти генератора, і, відповідно, зміну вихідної напруги частотного дискримінатора, що надходить на вхід підсилювача потужності. Його навантаженням є випаровувач (*Rv*), змонтований на вставці, що розташована у внутрішньому резервуарі кріогенною рідиною криостату. Компаратор захисту містить діодний датчик захисту (*ДЗ*), змонтований на вставці над випаровувачем. Схема контролює рівень кріогенної рідини у резервуарі криостату і відключає випаровувач при зниженні рівня кріоагента нижче допустимого.

На рис. 2 показано функціональну схему роботи кріосистеми, а на рис. 3 — будову азотного криостату з розширеним діапазоном термо-

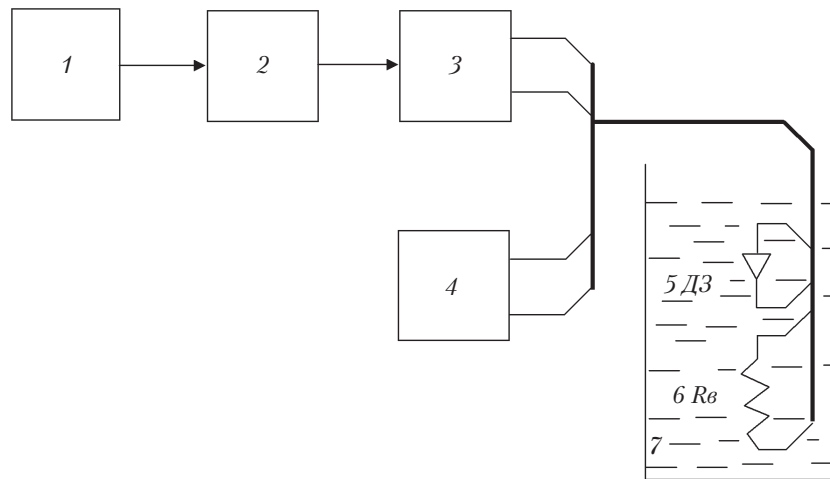


Рис. 1. Функціональна схема системи підтримки тиску: 1 – датчик тиску; 2 – генератор–дискримінатор; 3 – підсилювач потужності; 4 – компаратор захисту; 5 – термодіод – датчик захисту рівня рідкого азоту (ДЗ); 6 – опір випаровувача (R_v); 7 – бак криостату з рідким криоагентом

регуляції і вбудованими вакуумним холодопроводом та механізмом переміщення зразків.

При використанні криостату як автономного приладу, відкачка його вакуумної порожнини здійснюється через вакуумний кран криостату. При роботі криостату в комплексі з приставкою або із спектрофотометром, вакуумна порожнина криостату і приставки, або криостату й спектрофотометра, є спільною, і відкачка з неї здійснюється через вакуумний порт приставки або спектрофотометра.

Криостат складається з розбірного корпусу, всередині якого розміщено азотний бак з підвісним екраном, що оточує теплообмінник з підкладкою. Азотний бак підвішено до кришки корпусу на трьох тонкостінних трубках із матеріалу з низькою теплопровідністю. Трубки підвісу азотного бака необхідні для:

- † введення в бак голчастого вентиля;
- † для розміщення вертикальної трубки поплавкового показчика рівня рідкого азоту;
- † для заливки рідкого азоту в бак;
- † для встановлення випаровувача.

У порожнині азотного бака розміщено поплавок, кріонасос і вузол подачі азоту. При закритому голчастому вентилі із бака трубкою

надходить газоподібний азот, при відкритому – рідкий азот. Візуальний контроль рівня рідкого азоту в баку здійснюється за показчиком, розміщеним всередині скляної ампули.

Теплообмінник з підкладкою підвішено на трубці, що закріплена у верхній частині криостата. Вона переміщується за допомогою механізму переміщення разом із теплообмінником та підкладкою як вертикально, так і горизонтально. Будову механізму переміщення наведено на рис. 4.

Механізм переміщення призначено для переміщення теплообмінника (1) з підкладкою (2) для монтажу досліджуваних зразків (3). Переміщення здійснюється як вертикально (вгору-вниз), так і горизонтально (див. вигляд зверху рис. 4). Механізм закріплено у верхній частині криостату на трубці (4), що розташована в центрі кришки (5). На ній є установочний фланець (6). Теплообмінник (1) із підкладкою (2) розміщено у хвостовій частині криостату і з'єднано з механізмом переміщення через трубку (7), закріплену у верхній частині механізму.

Механізм переміщення складається з базового фланця (8), закріпленого через ущільнення на гвинтах (9) на фланці (6). На останньо-

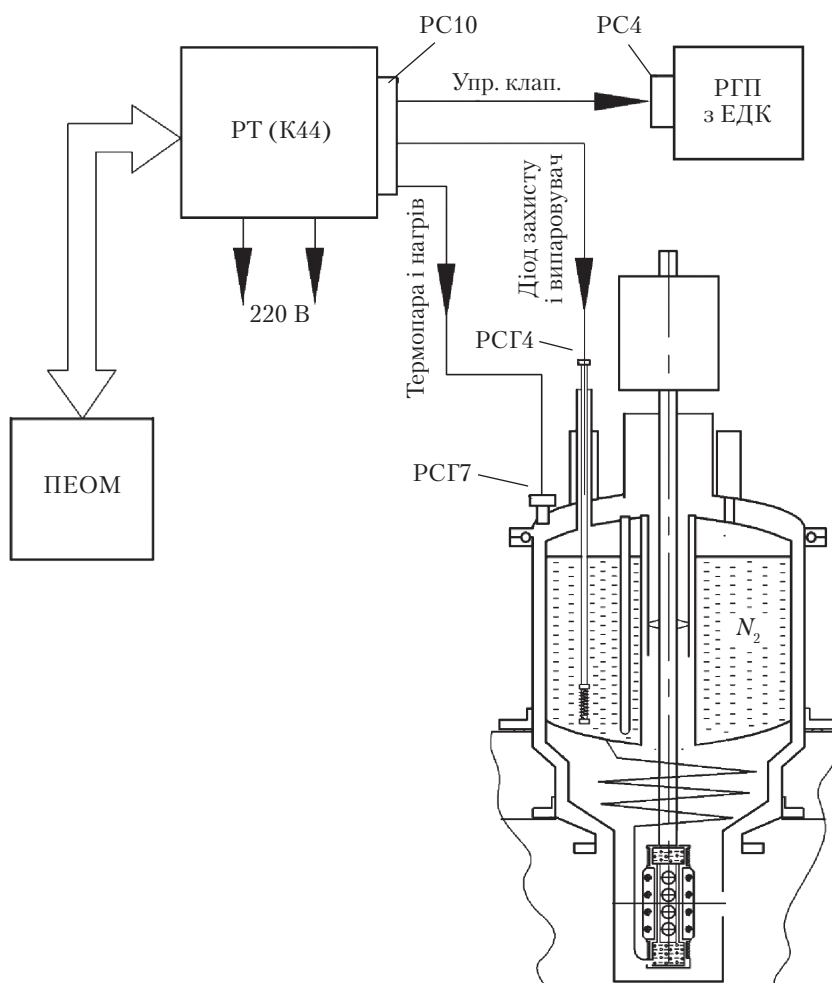


Рис. 2. Функціональна схема криостатної системи проточного типу з інтегрованим резервуаром криоагента: РС10; РС4; РСГ 4; РС7 – електричні з'єднувачі; РТ (К44) – регулятор температури; РГП – регулятор газових потоків з вбудованим електродинамічним клапаном (ЕДК); ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина

му встановлено направляючу (10), в якій вертикально переміщується повзунк (11), що приєднаний до верхнього фланця (12) і переміщується разом з ним за допомогою гвинта (13). Гвинт закріплено у фланці (8) з можливістю обертання за допомогою втулки (14) і гайки (15). При обертанні він переміщує по вертикалі різьбову втулку (16), закріплену на фланці (12). Обертання гвинта (13) здійснюється за допомогою рукоятки (17) і переміщує вертикально разом із фланцем (12) закріплений на ньому стакан (18), в якому є гвинти

(19) і підпружинені упори (20). Саме через ці гвинти і упори відбувається переміщення втулки (21) із закріпленою у ній трубкою (7). Таким чином, при обертанні рукоятки (17) трубка (7), разом із закріпленими на ній теплообмінником і підкладкою, переміщується вгору або вниз. Сильфон (22) призначено для герметизації зазору між трубкою (10) і повзунком (11) від вакуумної порожнини криостата, а сильфон (23) – для можливості переміщення трубки (7) при умові збереження вакууму у вакуумній порожнині криостата.

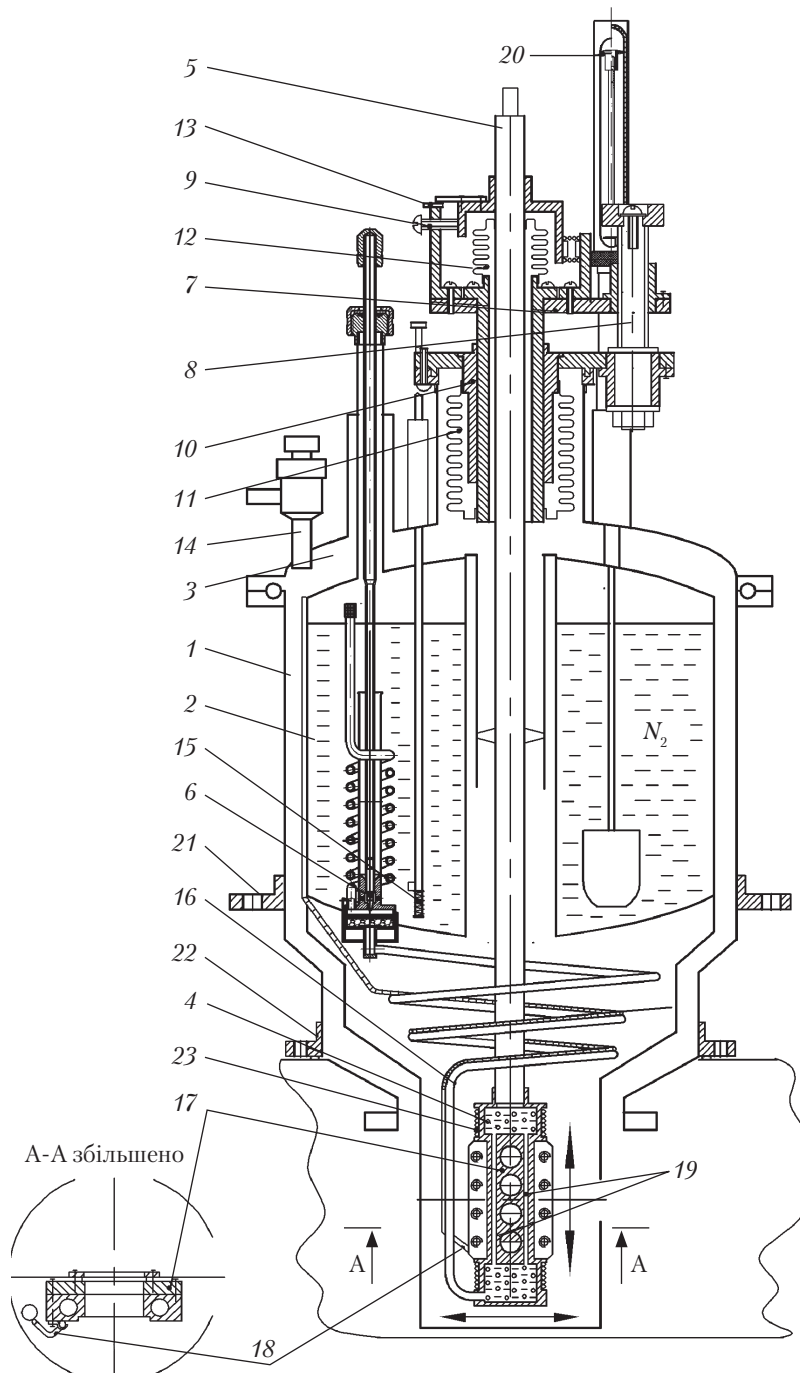


Рис. 3. Конструктивна схема азотного криостату з розширеним діапазоном терморегуляції і вбудованим вакуумним холодопроводом та механізмом переміщення зразків: 1 – зовнішній кожух криостата; 2 – бак азотний; 3 – кришка криостата; 4 – теплообмінник; 5 – трубка підвісу тримача зразків; 6 – запираючий пристрій; 7 – механізм переміщення по вертикалі; 8 – гвинт; 9 – механізм переміщення по горизонталі; 10 – направляюча; 11 – сифон; 12 – сифон; 13 – шкала відліку переміщення по горизонталі; 14 – кран вакуумний; 15 – випаровувач; 16 – трубка подачі азоту; 17 – тримач зразків; 18 – термопара; 19 – канали проходу азоту; 20 – показчик рівня; 21 – фланець кріплення до спектрометру; 22 – фланець кріплення до приставки; 23 – нагрівач

Крім переміщення по вертикалі, механізм переміщення забезпечує можливість здійснювати кутові нахили теплообмінника з підкладкою відносно вертикальної осі криостату в двох вертикальних площинах. В результаті

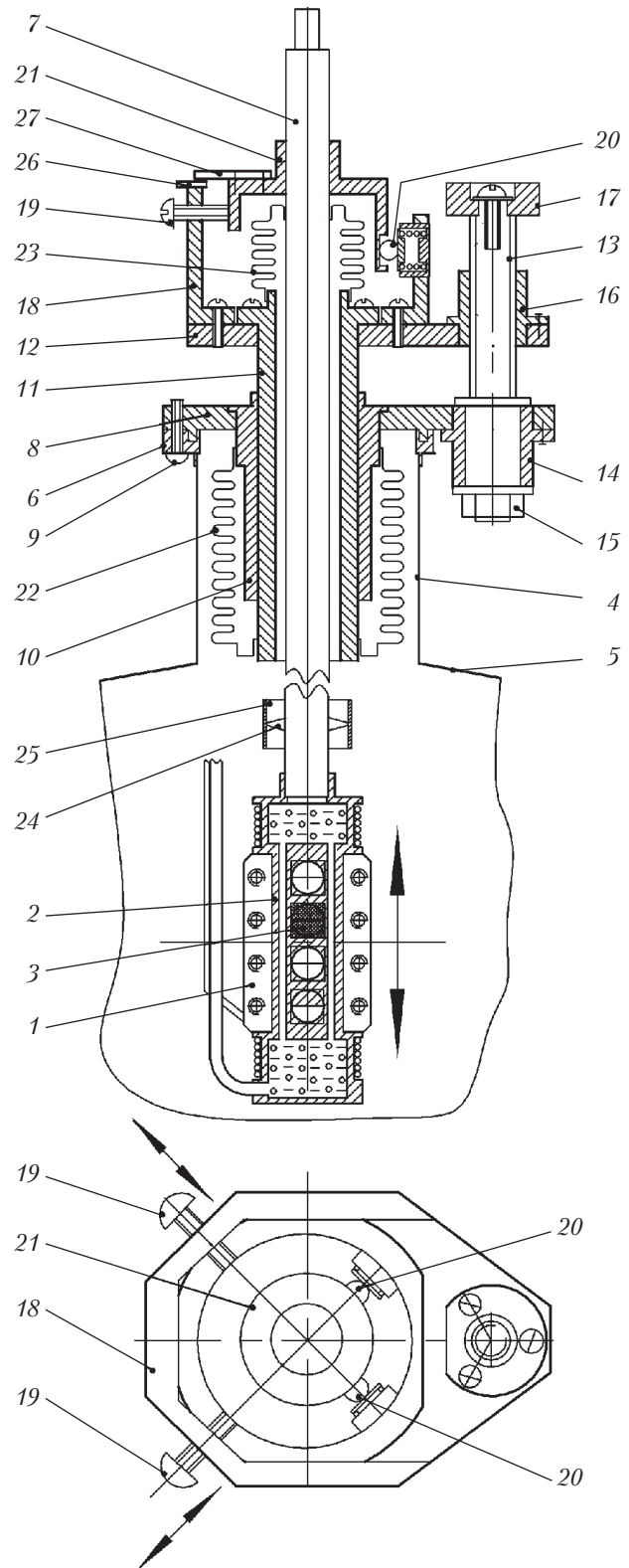
цього теплообмінник з підкладкою переміщується в двох площинах по горизонталі.

Кутові нахили трубки (7) виконують за допомогою двох гвинтів (19), які переміщують її верхню частину через втулку (21) відносно

Рис. 4. Детальний устрій механізму переміщення, вбудованого в азотний кріостат: 1 – теплообмінник; 2 – підкладка; 3 – досліджувані зразки; 4 – трубка кріплення механізму переміщення; 5 – кришка; 6 – установочний фланець; 7 – трубка з'єднання механізму переміщення з теплообмінником; 8 – базовий фланець; 9 – гвинти; 10 – направляюча; 11 – повзунок; 12 – верхній фланець; 13 – гвинт; 14 – втулка; 15 – гайка; 16 – різьбова втулка; 17 – рукоятка; 18 – стакан; 19 – гвинти кутового нахилу; 20 – підпружинені упори; 21 – втулка; 22 – сильфон; 23 – сильфон; 24 – розпір; 25 – трубка; 26 – міліметрові шкали відліку переміщення у горизонтальній площині у двох напрямках; 27 – стрілковий індикатор відліку переміщення

розпору (24), що закріплений на трубці (7) і нахилиється разом з нею в трубці (25). Останню закріплено на внутрішній боковій поверхні азотного бака кріостату. При цьому частина трубки (7), що знаходиться вище розпору, буде нахилитися в один бік, а частина трубки, що розміщується нижче розпору, – в протилежний. Для зміни нахилу трубки діаметрально протилежно, гвинти (19) обертають в інший відносно початкового бік. При цьому підпружинені упори (20), що встановлені напроти гвинтів (19), впираються у втулку (21) з протилежного боку. Ці нахили мають кут менше 1° і можуть бути спростовані за лінійне переміщення (замість переміщення по дузі) трубки (7) з теплообмінником і підкладкою. Для відліку горизонтальних переміщень теплообмінника з підкладкою на стакани (18) встановлено дві шкали (26), що розташовані під кутом 90° вздовж напрямів переміщення. На втулці (21) розміщено два покажчика (27), які вимірюють лінійні переміщення теплообмінника з підкладкою відносно шкал (26).

Керування температурою (в діапазоні 80–300 К) зразку, закріпленого на теплообміннику з підкладкою, здійснюється за рахунок зміни швидкості подачі кріоагента в теплообмінник і підігрівом теплообмінника електронагрівачем (див. рис. 2). Керування потоком кріоагента, що надходить з азотного бака до каналів теплообмінника через трубку подачі і через трубку підвісу теплообмінника до регулятора газових потоків (РГП), здійснюється



регулятором температури, що подає керуючий сигнал через електричні з'єднувачі РС10 та РС4 на електродинамічний клапан (ЕДК), встановлений в РГП на виході газового потоку кріоагента з кріостату. Керування підігрівом теплообмінника здійснюється регулятором температури (РТ), що подає напругу на електронагрівач.

Програма, за якою повинна змінюватися температура, задається від персональної електронно-обчислювальної машини, що з'єднана інформаційними мережами з РТ. Для вимірювання температури на підкладці зі зразком закріплено термопару, яку через з'єднувач РСГ 7 на кріостаті підключено до РТ.

Для збільшення тиску парів азоту в бакові кріостату встановлено випаровувач, що впливає на швидкість подачі рідкого азоту в теплообмінник. Для захисту випаровувача від перегріву, у разі зниження рівня рідкого азоту в бакові нижче верхньої частини випаровувача, встановлено діод захисту, що спрацьовує при зниженні рівня рідкого азоту нижче допустимого і подає сигнал на РТ через з'єднувач РСГ4 для вимикання випаровувача. Керування температурою в діапазоні 300–500 К на підкладці зі зразком здійснюється РТ, що подає напругу тільки на електронагрівач на теплообміннику.

В кріостаті передбачено можливість відкачування парів азоту для досягнення низьких температур (до 65 К). Для запобігання вібрацій зразка, у цьому випадку, передбачено їх гасіння шляхом механічної розв'язки між насосом і кріостатом у вигляді щільної армованої гумової гофротруби, розміщеної на виході кріостата, в яку щільно входить гнучкий гофрорукав, другий кінець якого так само щільно входить у армовану гумову гофротрубу, щільно насаджена на відкачний патрубок кріостату. Крім того, насос встановлюють на підлозі через товсту гумову пористу пластину для зменшення передачі вібрацій на зразок від працюючого насоса.

Технічні характеристики механізму переміщення наступні:

- ✦ 4 отвори для кріплення зразків;
- ✦ можливість підйому-опускання на ± 11 мм;
- ✦ можливість переміщення горизонтально у двох площинах на ± 3 мм.

Отримані технічні характеристики кріосистеми наведено нижче.

Технічні характеристики кріосистеми

Діапазон регулювання температури, К	65 ÷ 80 ÷ 500
Кріоагенти	Рідкий азот
Витрати рідкого азоту:	
при заохолодженні кріостата, см ³ , не більш	500
при підтриманні температури 80 К, см ³ /год, не більш	150
при підтриманні температури 65 К, см ³ /год, не більш	250
Час неперервної роботи при 65 К без дозаливки кріоагентами, год., не менше	4
Час неперервної роботи (при підводі ззовні потужності не більше 0,1 Вт) при 80 К, год.	8
Об'єм бака рідкого азоту, см ³	2500
Розміри теплообмінника, мм	Ø 36 × 90
Зовнішні габарити кріостату, мм	Ø 224 × 604
Маса кріостату, кг	6
Параметри електронагрівача, що встановлений на теплообміннику:	
Опір, Ом	70
матеріал	ніхром, Ø 0,14 мм L = 2 м

Таким чином, для розширення функціональних можливостей інфрачервоного Фур'є-спектрометра *Vertex 70v* виробництва компанії *Bruker* (Німеччина) створено терморегульований в діапазоні 80–500 К кріостат проточного типу з розташування зразка у вакуумній камері спектрометру. Розроблений кріостат дозволяє уникнути поширених проблем, пов'язаних з вібраціями зразка та втратою корисного оптичного сигналу внаслідок його відбивання та поглинання оптичними вікнами кріостату, та не поступається за своїми можливостями кращим закордонним аналогам.

Роботу виконано в рамках програми наукового приладобудування НАН України, гранти П-2/16-40, П-2/17-40, П-2/18-40.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. OptistatCF. URL: <https://nanoscience.oxinst.com/products/cryostats-for-spectroscopy/optistatcf> (дата звернення: 25.04.2019).
2. ST-100-FTIR Cryostat for Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy Applications. URL: <https://www.janis.com/Products/productoverview/SuperTranContinuousFlowCryostatSystems/ST-100-FTIR.aspx#> (дата звернення: 25.04.2019).
3. OptistatDN. URL: <https://nanoscience.oxinst.com/products/cryostats-for-spectroscopy/optistatdn> (дата звернення: 25.04.2019).
4. LiquidNitrogen VPF Series CryostatSystems – Sample in Vacuum. URL: https://www.janis.com/LN2_Home_KeySupplier.aspx# (дата звернення: 25.04.2019).
5. LiquidNitrogen VNF-100 CryostatSystem – Sample in Flowing Vapor. URL: https://www.janis.com/LN2Cryostat-SampleInFlowingVapor_Products_KeySupplier.aspx (дата звернення: 25.04.2019).
6. VPF-100-FTIR Cryostat for Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy Applications. URL: <https://www.janis.com/Products/productoverview/VPFLiquidNitrogenVariableTemperatureCryostat/VPF-100-FTIR.aspx> (дата звернення: 25.04.2019).
7. Жарков І.П., Сафронов В.В., Ходунов В.О., Коновал В.М., Маслов В.О., Селіванов О.В., Солонецький А.Г., Стрельчук В.В., Ніколенко А.С., Циганюк Б.І., Насека В.М. Розширення функціональних можливостей інфрачервоного Фур'є-спектрометра Bruker Vertex 70v. *Наука та інновації*. 2017. Т. 13, № 5. С. 77–82.
8. Жарков І.П., Сафронов В.В., Ходунов В.О., Коновал В.М., Маслов В.О., Селіванов О.В., Солонецький А.Г., Стрельчук В.В., Ніколенко А.С., Циганюк Б.І., Насека В.М. Створення спеціалізованих маніпуляторів для низькотемпературних досліджень. *Наука та інновації*. 2018. Т. 14, № 1. С. 29–36.
9. Жарков І.П., Жирко Ю.І., Івашченко А.Н., Сафронов Солонецький А.І. Расширение функциональных возможностей терморегулируемых криостатов жидкостно-проточного типа. *Прикладная физика*. 2011. № 3. С. 110–113.
10. Патент України на винахід № 87503. Жарков І.П., Івашченко О.М., Сафронов В.В., Погребняк С.В. Спосіб та пристрій для регулювання температури.

Стаття надійшла до редакції 27.12.18
Статтю прорецензовано 28.02.19
Статтю підписано до друку 01.03.19

REFERENCES

1. OptistatCF. URL: <https://nanoscience.oxinst.com/products/cryostats-for-spectroscopy/optistatcf> (Last accessed: 25.04.2019).
2. ST-100-FTIR Cryostat for Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy Applications. URL: <https://www.janis.com/Products/productoverview/SuperTranContinuousFlowCryostatSystems/ST-100-FTIR.aspx#> (Last accessed: 25.04.2019).
3. OptistatDN. URL: <https://nanoscience.oxinst.com/products/cryostats-for-spectroscopy/optistatdn> (Last accessed: 25.04.2019).
4. Liquid Nitrogen VPF Series Cryostat Systems – Sample in Vacuum. URL: https://www.janis.com/LN2_Home_KeySupplier.aspx# (Last accessed: 25.04.2019).
5. Liquid Nitrogen VNF-100 Cryostat System – Sample in Flowing Vapor. URL: https://www.janis.com/LN2Cryostat-SampleInFlowingVapor_Products_KeySupplier.aspx (Last accessed: 25.04.2019).
6. VPF-100-FTIR Cryostat for Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy Applications. URL: <https://www.janis.com/Products/productoverview/VPFLiquidNitrogenVariableTemperatureCryostat/VPF-100-FTIR.aspx> (Last accessed: 25.04.2019).
7. Zharkov, I. P., Safronov, V. V., Khodunov, V. O., Konoval, V. M., Maslov, V. O., Selivanov, O. V., Solonetsky, A. G., Strelchuk, V. V., Nikolenko, A. S., Tsykaniuk, B. I., Naseka, V. M. (2017). Expansion of the functional capabilities of the Infrared Fourier Spectrometer Bruker Vertex 70v. *Nauka innov.*, 13(5), 77–82 [in Ukrainian].
8. Zharkov, I. P., Safronov, V. V., Khodunov, V. O., Konoval, V. M., Maslov, V. O., Selivanov, O. V., Solonetsky, A. G., Strelchuk, V. V., Nikolenko, A. S., Tsykaniuk, B. I., Naseka, V. M. (2018). Creation of specialized manipulators for low-temperature research. *Nauka innov.*, 14(1), 29–36 [in Ukrainian].
9. Zharkov, I. P., Zhirko, Yu. I., Ivashchenko, A. N., Safronov, V. V., Solonetsky, A. I. (2011). Expansion of functional capabilities of liquid-flow type thermostatic cryostats. *Applied Physics.*, 3, 110–113 [in Russian].
10. Patent of Ukraine for invention N 87503. Zharkov I. P., Ivashchenko O. M., Safronov V. V., Pogrebnyak S. V. Method and temperature control device [in Ukrainian].

Received 27.12.18
Revised 28.02.19
Accepted 01.03.19

Zharkov, I.P.¹, Safronov, V.V.¹, Khodunov, V.A.¹, Konoval, V.M.¹,
Maslov, V.A.¹, Selivanov, A.V.¹, Solonetsky, A.G.¹,
Strelchuk, V.V.², Nikolenko, A.S.², and Tsykaniuk, B.I.²

¹Institute of Physics of the NAS of Ukraine,
46, Nauki Av., Kyiv, 03028, Ukraine,

+380 44 525 1220, +380 44 525 1589, fizyka@iop.kiev.ua

²Institute of Semiconductors Physics of the NAS of Ukraine,

41, Nauki Av., Kyiv, Ukraine,

+380 44 525 4020, +380 44 525 83429, info@isp.kiev.ua

COMPLEX OF CRYOGENIC APPARATUS FOR INFRARED FOURIER *BRUKER VERTEX 70v* SPECTROMETER

Introduction. Infrared Fourier Bruker spectrometer of *Vertex 70v* type is known to be a high-resolution research device that has a rather high cost. The device manufacturer intends to expand its functional possibilities due to cooperation with western partners with the use of additional attachments to the spectrometer and continuous flow cryostats for temperature dependent measurements.

Problem Statement. The imported attachments are standard-type, not customized and quite expensive. Therefore, the objective of this research is to expand functional capabilities of the spectrometer using Ukraine-made pieces.

Purpose. To design the configuration and to create a cryogenic apparatus for expanding the functional capabilities of *Bruker Vertex 70v* infrared Fourier spectrometer of (Germany).

Results. The cryogenic apparatus consisting of the cryosystem with temperature controlled within 2.2–330 K based on a helium continuous flow cryostat with a set of special manipulators and the cryosystem with temperature controlled within 80–500 K based on a combined nitrogen cryostat with vacuum refrigerant duct of continuous flow type and integrated reservoir of liquid cryoagent has been created. The developed complex of cryogenic equipment is fully compatible with *Bruker Vertex 70v* infrared Fourier spectrometer and enables temperature-dependent measurements of infrared transmission, reflection, and photoluminescence spectra.

Conclusions. The designed cryosystems are as good as the best world analogs in terms of technical characteristics and have an essential advantage over them in terms of cryoagent consumption rate.

Keywords: Fourier spectrometer, temperature-controlled helium, and nitrogen cryosystems.

І.П. Жарков¹, В.В. Сафронов¹, В.А. Ходунов¹,
В.М. Коновал¹, В.А. Маслов¹, А.В. Селіванов¹, А.Г. Солонецький¹,
В.В. Стрельчук², А.С. Ніколенко², Б.І. Цыканиук²

¹ Інститут фізики НАН України,

пр-т Науки, 46, Київ, 03028, Україна,

+380 44 525 1220, +380 44 525 1589, fizyka@iop.kiev.ua

² Інститут фізики напівпровідників НАН України,

пр. Науки, 41, Київ, 03028, Україна,

+380 44 525 4020, +380 44 525 83429, info@isp.kiev.ua

КОМПЛЕКС КРИОГЕННОЇ АППАРАТУРИ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА *BRUKER VERTEX 70v*

Введение. Известно, что инфракрасный Фурье-спектрометр *Bruker Vertex 70v* является прибором исследовательского класса с высокой разрешающей способностью, но является дорогостоящим. Изготовители прибора, благодаря кооперации с западными партнерами, предусматривали расширение его функциональных способностей при помощи дополнительных приставок к спектрометру и оснащения криостатами продувного типа.

Проблематика. Дополнительная импортная аппаратура изготавливается стандартной, не учитывая особенностей каждого эксперимента и, в свою очередь, имеет высокую цену. Поэтому задача расширения функциональных возможностей спектрометра отечественными средствами вместо импортных является актуальной.

Цель. Разработка конструкции и изготовление комплекса криогенной аппаратуры для расширения функциональных возможностей инфракрасного Фурье-спектрометра *Vertex 70v* производства *Bruker* (Германия).

Результаты. Создан комплекс криогенной аппаратуры в составе терморегулируемой в диапазоне 2,2–330 К криосистемы на базе гелиевого криостата жидкостно-проточного типа с набором специализированных манипуляторов, а также терморегулируемой в диапазоне 80–500 К криосистемы на базе комбинированного азотного криостата с вакуумным хладопроводом проточного типа и интегрированным резервуаром жидкого криоагента. Разработанный комплекс криогенной аппаратуры является полностью адаптированным для работы с инфракрасным Фурье-спектрометром *Bruker Vertex 70v* и обеспечивает возможность проведения температурно-зависимых измерений спектров инфракрасного пропускания, отражения и фотолюминесценции.

Выводы. Характеристики разработанных криосистем не уступают лучшим мировым аналогам по функциональным показателям, а по затратам криоагента имеют существенные преимущества.

Ключевые слова: Фурье-спектрометр, терморегулированные гелиевая, азотная криосистемы.