

УДК 550:531

Температурний режим на борту КА «Інтербол-1»

В. Є. Корепанов¹, Є. Д. Михайлова¹, М. М. Ноздрачов²

¹Львівський центр Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ, Львів

²Інститут космічних досліджень РАН, Москва (Росія)

Надійшла до редакції 14.09.98

Досліджені температурні режими наукової апаратури та давачів на борту КА «Інтербол-1» під час експерименту 1995—1997 рр.

Довготривала робота наукової апаратури на борту КА «Інтербол-1» (хвостовий) протягом майже трьох років дає змогу проаналізувати надійність та витривалість її окремих вузлів. У вимірювальній техніці найбільш впливовим зовнішнім фактором, який визначає надійність роботи та похибку вимірювань, є зміна температури навколишнього середовища. Компенсація цього впливу є досить кошовною, особливо при космічних вимірюваннях, але забезпечення необхідних (за метрологічними та фізико-хімічними і міцнісними вимогами) температурних режимів дає гарантію часової витривалості роботи апаратури і відповідно достовірності отриманих за її допомогою наукових результатів.

За проектом «Інтербол» моніторинг температурних режимів роботи вимірювальної апаратури забезпечується спеціально розробленою термосистемою, що контролює температуру в кожній окремій ділянці апаратурного об'єму, а в окремих відповідальних вузлах здійснює її автоматичне регулювання.

Об'єм, де розташована вимірювальна апаратура, є досить значним за розмірами і відрізняється вимогами до температурного режиму в окремих його ділянках.

Як правило, давачі (первинні перетворювачі), що реагують на зміни електромагнітних полів або інших параметрів, менш вибагливі до температурних режимів за рахунок використання для їх виготовлення спеціальних термостабільних матеріалів. В той же час вторинні електронні перетворювачі

виявляються більш чутливими до температурних умов роботи і вимагають необхідного захисту від дії навколишнього середовища (температурного, радіаційного, світлового випромінювання).

Особливо руйнівними виявляються значні циклічні перепади температури з різкими межами від T_{\min} до T_{\max} . Виходячи з вищесказаного і враховуючи температурні вимоги до різних видів приладів, розміщення вимірювальної апаратури на КА «Інтербол-Тайл Пробе» було здійснене як у гермоконтейнері, так і поза ним [2]. При цьому частина апаратури, розміщеної зовні, була встановлена на зовнішніх конструкціях корпусу гермоконтейнера, що відігравали роль теплових радіаторів, а частина апаратури (в основному давачі) встановлювалась на спеціальних виносних штангах, щоб уникнути впливу випромінювання і заряду КА на результати вимірювань. Розміщення наукової апаратури на КА подано на рис. 1, де цифрами позначені прилади, які здійснювали відповідні дослідження:

- | | |
|---------------|---|
| 1 — SKA-1 | — розподіл іонів за енергіями; |
| 2 — PROMICS-3 | — розподіл енергії іонів; |
| 3 — AMEI-2 | — енергетичні спектри; |
| 4 — VDP | — потоки іонів і електронів; |
| 5 — ELECTRON | — електронні компоненти; |
| 6 — CORALL | — розподіл кут/енергія іонів; |
| 7 — ALPHA-3 | — потоки іонів теплової плазми; |
| 8 — OPERA | — електричні флуктуації; |
| 9 — BD-7-ADS | — спектральний аналіз флуктуацій просторового струму; |

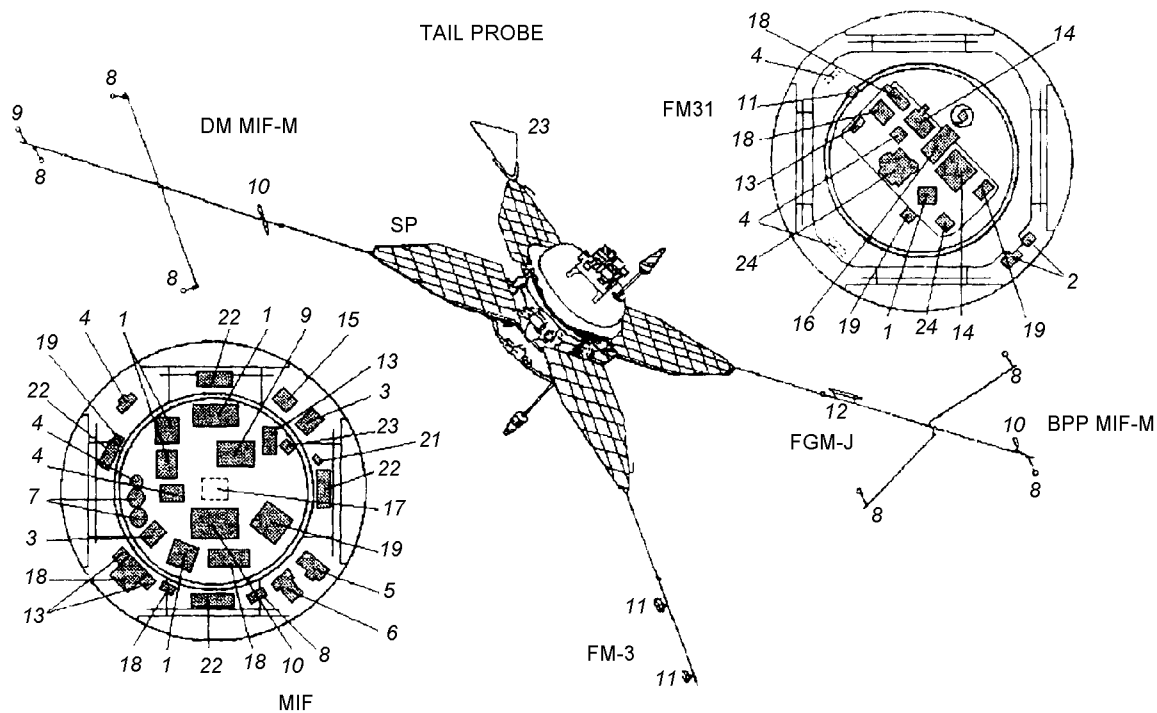


Рис. 1. Розміщення наукової апаратури на борту КА (див. текст)

- 10 — MIF-M — магнітні поля, (DM, BPP — датчики на штангах);
 11 — FM-3I — магнітні поля;
 12 — FGM-I — магнітні поля;
 13 — IFPE-DEP — іонні та електронні потоки;
 14 — SKA-2 — заряд енергійних частинок;
 15 — DOK-2 — кутовий розподіл електронів;
 16 — RF-15-I — сонячні X-промені;
 17 — S2-T — субсупутник;
 18 — SOSNA-3 — дозиметричні виміри;
 19 — RKI-2 — іонізаційна радіація;
 20 — SSNI — система збору наукової інформації;
 21 — STO — інтерферометричні виміри;
 22 — BNK, BNS, BNTR, BNTS — блоки комутації;
 23 — ARK-X — радіоemisія в діапазоні 100 кГц—1.5 МГц;
 24 — MONITOR-3 — іонні потоки сонячного вітру.

Забезпечення температурних режимів на КА здійснюється активними і пасивними методами регуляції. Підтримка температурного режиму всередині гермоконтейнера здійснена активним методом спеціальною регулюючою термосистемою, яка змінює умови теплопередачі в приладному відсіку в

залежності від внутрішньої температури. При цьому відсік заповнено інертним газом, в якому і виконується регулювання за допомогою спеціальних вимірювачів температури, вентиляторів, фенів, дифузорів, холодильних агрегатів і т. ін. Ця система забезпечує наступний кліматичний і температурний режим всередині гермоконтейнера:

тиск газу — в межах 0.8—1.2 атм. при $t = +20^{\circ}\text{C}$;
 температура — в межах від 0°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
 склад інертного газу: азот 94—98 %, кисень 2—6 %, гелій — не менше 0.1 %.

Температурний режим поза гермоконтейнером — на його поверхні і приладах, що закріплені на ньому, а також на штангах — забезпечується пасивними методами: спеціальними покриттями і фарбами. Частина контейнера зовні і прилади покриті багатшаровою екранно-вакуумною термоізоляцією ЕВТІ [1] з інтегральною випромінювальною здатністю $\alpha \approx 0.6$ та ступенем чорноти тіла $\varepsilon \approx 0.6$. Частина контейнера зовні покрита фарбою з лінійним коефіцієнтом поглинання $\lambda \approx 0.2$ і $\varepsilon \geq 0.9$. Активний захист від охолодження здійснюється резистивним підігрівом. Вимірювання температури на блоках електроніки зовні гермоконтейнера здійснюється давачами типу ТПО18-04, з діапазоном

вимірювальних температур від $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+96\text{ }^{\circ}\text{C}$, а давачів на сонячних батареях і штангах — від $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Частина тепла зсередини гермоконтейнера передається через теплопровідність до радіаторів-охолоджувачів, роль яких виконує лицева поверхня гермоконтейнера. Освітлюваний сонцем спеціальний термодемпфер на гермоконтейнері зменшує температурні варіації радіатора-охолоджувача. Середній ступінь почорніння зовнішньої поверхні радіатора забезпечує усереднену температуру $15\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ при номінальній тепловій потужності розсіяння вимірювальних приладів. Хімічна обробка поверхні радіаторів і демпфера та їх покриття відповідними фарбами забезпечує необхідні оптичні коефіцієнти: для радіатора $A_s \leq 0.25$, $\varepsilon \geq 0.9$; для демпфера $A_s \leq 0.3$, $\varepsilon \geq 0.8$, де A_s — поглинальна властивість тіла, що стабілізує температурний режим.

Вентилятор-фен під час сеансу телезв'язку працює постійно, а між сеансами — в залежності від температури газового середовища у контейнері, що контролюється термодавачами. Коли температура знижується до $T_1 = 10 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, термодавачі подають сигнал на вимкнення фена; коли газова температура стає $T_2 = 20 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ — фен вмикається і працює у постійному режимі.

Терморежими приладів, що розташовані зовні гермоконтейнера, залежать від їх розміщення і орієнтації відносно Сонця, а також площі поверхні, внутрішньої потужності розсіяння, маси, закріплення. Ці режими визначаються траєкторією польоту КА і кутом, під яким сонячні промені освітлюють поверхню давачів чи приладів, що розташовані на гермоконтейнері, а також затіненням приладів один одним. Кут нахилу осі КА до Сонця постійно контролюється і регулюється. Крім того, навіть незначні виділення тепла за рахунок розсіяння у електронних компонентах блоків попередніх підсилювачів, що розташовані разом з давачами на виносних штангах і не мають спеціального додаткового підігріву, є суттєвими, оскільки давачі, як правило, захищені спеціальними захисними чохлами та папером з вуглецевим напленням, які затримують тепловипромінювання і тим самим стабілізують температуру біля давачів.

Щоб забезпечити режим виживання, коли КА знаходиться у тіні Землі більше як 1 год, вмикаються на підігрів теплові резистивні елементи, що мають сумарну потужність 150 Вт. В цей час термодавачі вмикаються, фени працюють постійно. Коли тінь закінчується, термодавачі вмикаються знову і керують тепловим режимом.

За проектом «Інтербол-1» при відхиленнях осі КА

Температурні режими за проектом КА «Інтербол-1»

Місце	$T_{\min},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\max},\text{ }^{\circ}\text{C}$
Газ всередині приладного гермоконтейнера	0	+40
Сонячні панелі	-150	+80
Місця закріплення приладів:		
а) прилад увімкнено		
— на контейнері, верхній площадці, циліндричній опорі;	-20	+50
— на кінцях сонячних панелей, на штанзі	-50	+50
б) прилад вимкнено		
— на контейнері, верхній площадці, циліндричній опорі, на кінцях сонячних панелей, на штанзі	-150	+70

від Сонця не більш як на $\pm 10^{\circ}$ і часі затінення не більше однієї години температурні режими повинні відповідати поданим у таблиці.

Реальні температурні режими, як виявилось з отриманих від температурних давачів даних, дещо відрізняються від запроєктованих.

На рис. 2, а подано поєднані за 1996 та 1997 рр. розподіли температури на виносних конструкціях (штангах), а на рис. 2, б — зовні гермоконтейнера КА «Інтербол», що рухається по еліптичній орбіті з періодом обертання 91 год з віддаленням 370 км у

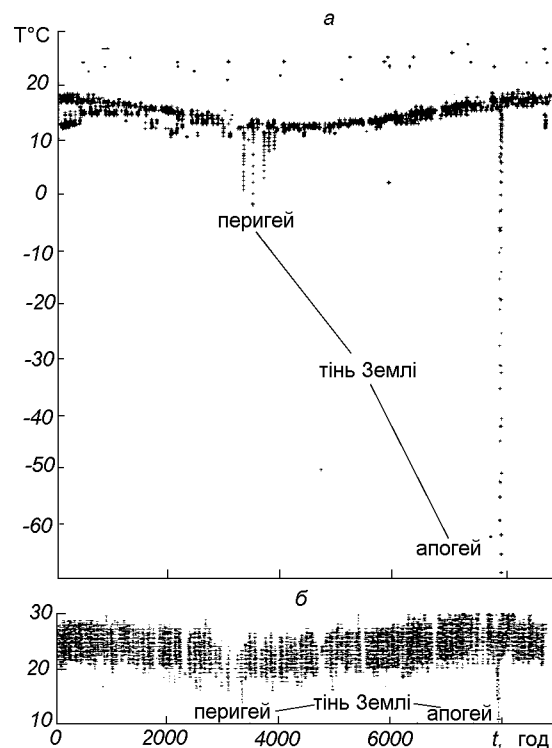


Рис. 2. Об'єднані дані за 1996 та 1997 рр. про розподіл температури: а — на штанзі; б — зовні гермоконтейнера КА

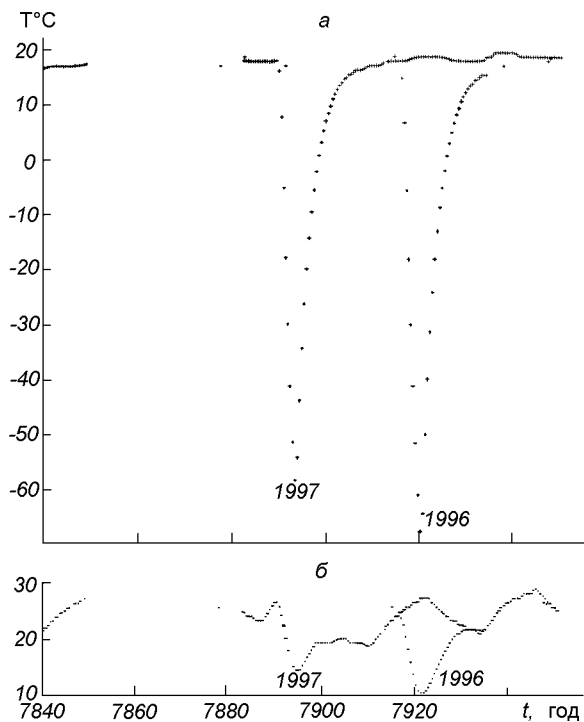


Рис. 3. Характер зміни температури при проходженні апогейної тіні Землі: *а* — на штанзі; *б* — зовні гермоконтейнера КА

перигеї та 193000 км ($\approx 30R_E$) у апогеї. Аналіз показує, що річний розподіл температури КА має коливний характер, який залежить від пори року, тобто віддалення КА від Сонця, та від параметрів терморегулюючої системи. Перепад температур ΔT , обумовлений порами року, становить 5–10 °С. Перепад температур, обумовлений зоною регулювання термосистеми (рис. 2, *б*), становить в середньому близько 10 °С. Крім того, коли орбіта КА проходить через тінь Землі, спостерігається різке зменшення температури (рис. 2, *а*) в апогеї до $-60\text{...}-70$ °С, що триває 3–5 год (точка відліку $t \approx 8000$ год), та до 0 °С у перигеї ($t \approx 3500$ год).

Найбільш важким температурним режимом в орбітальному польоті є режим, що утворюється при проходженні КА тіні Землі в апогеї. Це трапляється для КА «Інтербол-1» щорічно наприкінці листопада. За час проведення експерименту від його початку 03.08.95 р. КА тричі проходив через цю тінь Землі:

- 1) з 00 год 28.11.95 до 05 год 28.11.95 (всього 5 год)
- 2) з 21 год 25.11.96 до 02 год 26.11.96 (5 год)
- 3) з 19 год 24.11.97 до 22.30 год 24.11.9 (3.5 год).

Під час проходження в апогеї тіні Землі йде інтенсивне охолодження КА (термоудар) і розташованої на ньому апаратури, що вимагає додаткових

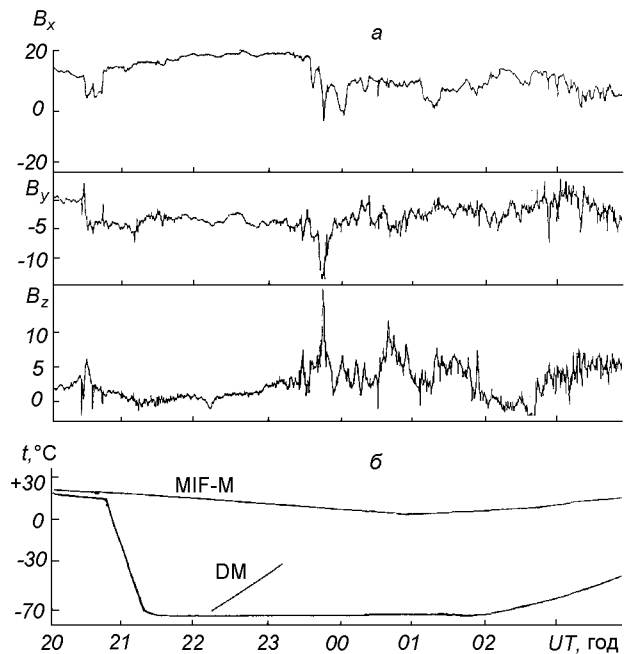


Рис. 4. Широкопasmові вимірювання приладом MIF-M під час апогейної тіні 1996 р.: *а* — компоненти магнітного поля у плазмосфері; *б* — характер зміни температури

енергетичних витрат на підігрівання апаратури для забезпечення її життєздатності після виходу з тіні. Необхідність економії енергетичних ресурсів КА вимагає вимкнення апаратури під час проходження тіні Землі, оскільки значне охолодження ввімкненої апаратури може привести до її пошкодження або до зміни метрологічних параметрів вимірювальних блоків, а вплив мінусових температур на вимкнену апаратуру врахований вимогами до її виготовлення.

Під час першого (1995 р.) і третього (1997 р.) проходження КА апогейної тіні Землі вимірювальна наукова апаратура вимикалась. Під час другого проходження тіні Землі у 1996 р. частина вимірювальної апаратури залишалась увімкненою. Контроль температури в деяких точках КА здійснювався температурними давачами, які були встановлені на сонячних батареях, в місцях розташування зовні гермоконтейнера блоків електроніки MIF-M, IFPE, DEP, SOSNA-3 та біля приладів FGM-I, FM-3 на штангах. Дані про ці температури можна використати для визначення температурних режимів вказаних наукових приладів у реальних умовах космічного простору.

Під час входження КА в тінь Землі відбувається різке зменшення температури з порівняно повільним збільшенням при виході з тіні. Характер зміни температури при проходженні тіні у 1996 та

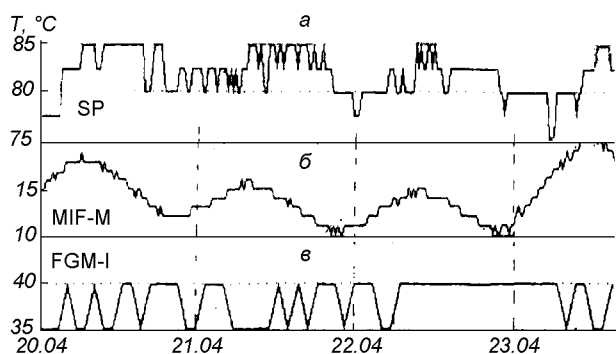


Рис. 5. Приклад звичайних коливань температури з 04.20.97 до 04.24.97 на прикладах КА: а — SP, б — MIF-M, в — FGM-I (DM)

1997 рр. подано на рис. 3. Як бачимо, температура на штанзі при вході в тінь різко знизилась від $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1997 р.) та до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1996 р.), а зовні гермоконтейнера на блоці електроніки MIF-M відповідно лише до $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ та до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3, б). Тінь 1997 р. була коротша (3.5 год) і дала менше загальне зниження температури. Але сам характер температурної кривої має ті ж властивості, що й у 1996 р.: більш стрімке зниження температури при вході в тінь і повільніше збільшення при виході з тіні.

Як ми вже вказували, при другому проходженні тіні Землі, що відбулось 25—26 листопада 1996 р., вимірювальні блоки не вимикались і фіксували вимірювальні сигнали. Найбільше зацікавлення авторів викликала робота в цих умовах багатоконпонентного вимірювача магнітних флуктуацій MIF-M з давачами BPP та DM, які спроектовані та виготовлені в Україні. На рис. 4 подано запис вимірювань за допомогою MIF-M компонентів постійного магнітного поля B_x , B_y , B_z під час проходження тіні у 1996 р. і перетину плазмощару. Запис свідчить про нормальне функціонування вимірювальних каналів MIF-M без помітного температурного впливу, який могли би дати давачі на штангах, що зазнали термоудару (перепад температури від $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 5 год).

Типові зміни температури при стандартному сонячному освітленні подано на рис. 5. Вимірювання проведені: а) на сонячних панелях SP; б) в місцях встановлення електронного блоку MIF-M; в) на штанзі в місці встановлення давача DM.

Коливний характер температури на графіку (рис. 5, в) пояснюється періодичним відхиленням положення осі КА відносно Сонця, що впливає на освітлення приладів і їхній температурний режим.

Таким чином, можна констатувати, що температурні режими вимірювальних приладів на КА не виходять за межі запроєктованих (див. таблицю) і є досить комфортними. Нормальна робота вимірювальної апаратури MIF-M на орбіті КА (при регуляції терморегіму в місці встановлення) з давачами DM та BPP (без регуляції температури в місці встановлення) після триразового проходження апогейної тіні та при постійній циклічній дії навколишніх температур свідчить про її надійність і придатність до роботи у жорстких режимах космічного простору (температурному, радіаційному, сонячного освітлення).

Практична реалізація температурного режиму при вимірюванні магнітного поля у відкритому космосі може бути врахована при оцінці реальної похибки вимірювань під час фізичної інтерпретації результатів досліджень магнітного поля в експерименті «Інтербол».

1. Космонавтика: Энциклопедия. — М.: Сов. энциклопедия, 1985.—528 с.
2. Kremnev R. S., Smirnov A. J., Gorkin S. S. Brief description of the PROGNOZ-M2 spacecraft in the INTERBALL Project. Interball mission and payload. — Moscow: IKI, 1994.—P. 76—85.

TEMPERATURE CONDITION ABOARD THE INTERBOL-1 SPACECRAFT

V. Ye. Korepanov, Ye. D. Mykhailova, and M. M. Nozdrachov

We investigated the temperature condition of the scientific equipment and data transmitters aboard the Interbol-1 spacecraft during the 1996—1997 experiment.