



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"
ЗВІТ



ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
**УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ ПЛАТФОРМИ ТА
ВИПРОБУВАННЯ ЛЬОТНОЇ МОДЕЛІ УНІВЕРСИТЕТСЬКОГО
НАНОСУПУТНИКА POLYITAN-3-RUT ФОРМАТУ SUBESAT ДЛЯ
ПОШУКУ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ЗЕМЛІ**

ТЕМА № 2512-Р

Київ – 2023

2 ЗАДАЧІ РОБОТИ ВІДПОВІДНО ДО ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ РОБОТИ 2512Р

1. Провести експериментальне дослідження ОЕС в вакуумі при дії знако-перемінної температури, порівняти експериментальні та теоретичні розрахунки параметрів ОЕС (в тому числі: провести складання та юстування ОЕС; виконати перевірку енергетичного розрахунку ОЕС)
2. Провести удосконалення конструкції сонячних батарей з ККД 27%
3. Здійснити розробку підсистеми радіозв'язку з високошвидкісним каналом «борт-Земля»
4. Створити засоби забезпечення теплового режиму роботи НС

3 ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

1. Створено математичну модель інтегрування траєкторії польоту НС з використанням вимірювань GPS/GALILEO координат, що дало можливість розраховувати маневр для наведення ОЕС НС на точку зйомки та надало можливість вимірювання висоти НС з похибкою 5м, що є в два рази кращим значенням від розглянутих аналогів (SSBV (Aerospace & Technol. group) – 10 м (2σ), SSTL(SGR-07) (Surrey Satellite Technol. Ltd) – 10 м .

2. Розроблено розрахункову математичну модель об'єктиву космічної ОЕС з фокусною відстанню 360 мм та діаметром вхідної зіниці – 90 мм. Перевагою такого об'єктиву перед світовими аналогами є відсутність в оптичній системі дзеркал Манжена та асферичних поверхонь, що уможлиблює його виготовлення із застосуванням доступного устаткування. Подано заявку на патент. На основі моделі показано, що збільшення розрізнявальної здатності ОЕС з заявленої 25-35 м, яка забезпечується серійним об'єктивом, вимагає об'єктиву з габаритом 122 мм (тобто формату 2U).

3. Розроблено модель теплового стану блоків НС, яка демонструє циклічний нагрів і охолодження зовнішніх елементів НС від мінус 30° С до плюс 50° С; при цьому температурний режим активованих систем всередині НС варіюється від 0°С до 90°С, де найбільша температура відповідає платі швидкісного радіоканалу, що пояснюється високим піковим тепловиділенням – 8 Вт. Теплова модель підтверджена результатами термовакуумних випробувань, які показали відмінність в межах $\pm 10\%$, а саме- розраховане пікове значення температури плати корисного навантаження- 68 °С, фактичне- 62 °С, система управління оптикою- 67 °С, фактичне- 70 °С.

4 ОСНОВНІ ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ

1. Сформовано інтерфейс взаємодії НС PolyITAN-3-PUT з передавальним пристроєм CS.S2.SR розробки та виготовлення Познанського технічного університету, Польща; розроблено блок узгодження передавальної апаратури С-діапазону CS.S2.SR та електронної плати процесору НС PolyITAN-3-PUT, що скоротило процес розробки наносупутника за рахунок паралельної розробки обох проєктів.

2. Удосконалено конструкцію сонячних батарей з фотоелементами на основі арсенід галієвих шарів за рахунок оптимізації підключення фотоелементів та розводки плат, що дало змогу зменшити втрату енергії у провідниках, знизити магнітний момент і, як наслідок, зменшити шкідливий внесок у орієнтацію супутника. Проведено вимірювання характеристик продуктивності панелей, яке дало покази ККД як мінімум у 30.7%, що виявились вищі за проєктний - 27%.

3. Розроблено програмно-апаратний комплекс ОЕС НС із автоматичним фокусуванням з рівнем споживання потужності не більше 7 Ват, що є на рівні найновіших світових напрацювань. Час виходу на операційний режим складає не більше 180с, швидкість захвату кадрів складає не менше 1 кадру/с, розрізнення зображення на висоті НС до 700 км складає не гірше 34 м на піксель. Наведені показники уможливають використання даних НС в аграрному секторі для планування посівів; знімки можуть бути використано для моніторингу пожеж природних масивів та пошуку корисних копалин.



5 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НДР

<u>Назва формального показника</u>	<u>Плановане значення</u>	<u>Фактичне значення</u>
Опубліковано статті у наукових журналах, збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що входять до наукометричних баз даних WoS та/або Scopus, (в тому числі у наукових журналах України, що відносяться до категорії "А")	12	7
Отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (у тому числі свідоцтва на реєстрацію авторського права на твір, патентів на винахід)	3	3
- патенти на винахід	1	1
- свідоцтва на авторський твір, патент на промисловий зразок	2	2
Прийняття участі у фестивалях/хакатонах	4	-
Створено нові чи істотно удосконалені існуючі експериментальні зразки, регламенти, моделі	3	3
Укладено господарчі договори, ліцензійні угоди, отримано гранти як впровадження наукових або науково-практичних результатів проєкту на суму відносно загального обсягу фінансування проєкту, відсоток від загальної суми вартості проєкту	до 50%	23.8%
Опубліковано статті у фахових наукових журналах України, що відносяться до категорії "Б"	3	5
Захищено кандидатських дисертацій	1	-
Апробація результатів роботи на міжнародних конференціях	4	8
Захищено магістерських дисертацій	3	4
Розроблено лабораторних робіт	2	2

6 НОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ НТУУ «КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

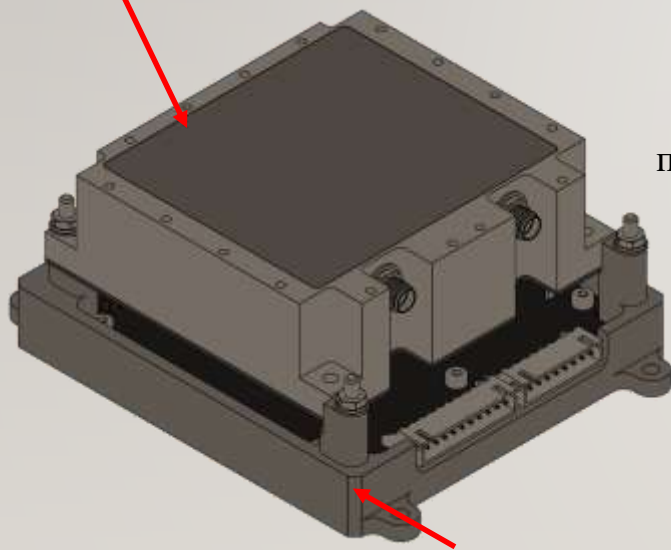
№ з/п	Повні дані про охоронні документи
1	Дзеркально-лінзовий об'єктив. МПК (2023.01) G02B 17/08; G02B 17/02; G02B 13/14 / <u>В.М. Сокурєнко</u> , О. М. Сокурєнко; Заявник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № а 2023 04339.
2	Програмний застосунок моделювання зубчастих коліс системи фокусування об'єктиву наносупутника / <u>А. А. Демчишин</u> , <u>Б.М. Рассамакін</u> ; Заявник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № с202307972. заявл. 22.11.2023
3	Програмний застосунок видалення шуму матриці з масивом кольорових світофільтрів Баєра / <u>А. А. Демчишин</u> , <u>Б.М. Рассамакін</u> ; Заявник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № с202307973. заявл. 22.11.2023

7

УЗГОДЖУВАЛЬНИЙ ІНТЕРФЕЙС ВИСОКОШВИДКІСНОГО РАДІОКАНАЛУ CS.S2.SR PUT

ВСТУП
РОЗДІЛ 1
РОЗДІЛ 2
РОЗДІЛ 3
РОЗДІЛ 4
РОЗДІЛ 5
РОЗДІЛ 6
РОЗДІЛ 7
ВИСНОВК
И
ДОДАТКИ

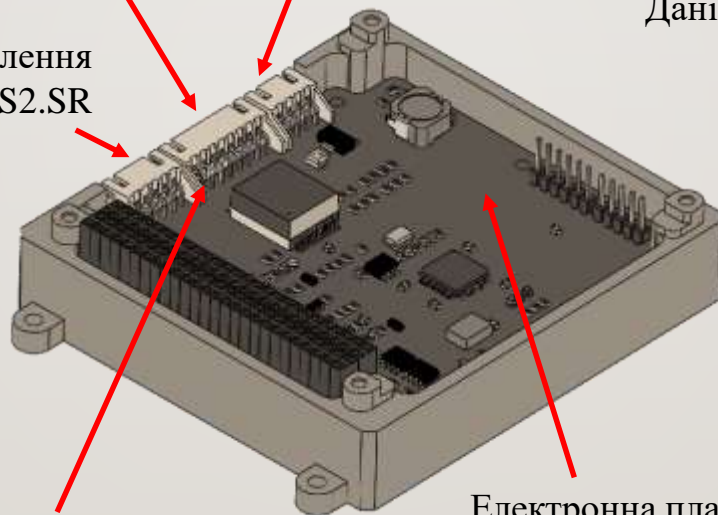
Передавальний пристрій С-діапазону CS.S3.SR



Блок узгодження С-діапазону

Роз'єм підключення швидкісного інтерфейсу оптичного сканера

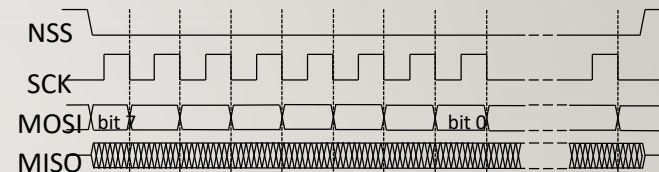
Роз'єм живлення пристрою CS.S2.SR



Роз'єм підключення апаратури передавача С-діапазона

Роз'єм підключення до бортової мережі живлення та інтерфейсу RS485

Електронна плата узгодження



Дані, які надходять по шині MISO ігноруються ОВС



8 НАВЕДЕННЯ НС РОЛЮІТАН-3-РУТ ДЛЯ ЗЙОМКИ ОБРАНОЇ ТОЧКИ НА ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ

Математична модель прогнозу орбіти
 для формування льотного завдання

$$\begin{cases} dxV_x \\ dy = V_y \\ dz = V_z \\ dV_x = -\frac{\mu x}{r^3} + \omega^2 x + 2\omega V_y \\ dV_y = -\frac{\mu y}{r^3} + \omega^2 y - 2\omega V_x \\ dV_z = -\frac{\mu z}{r^3} \end{cases}$$

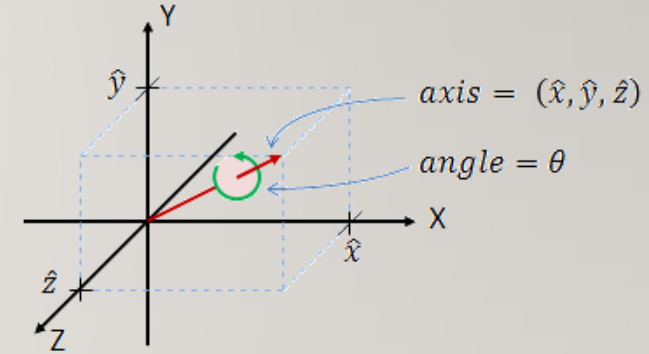
Розрахунок маневру для наведення на точку інтересу

$$A_{Target} = \begin{pmatrix} \hat{u}_x & \hat{v}_x & \hat{w}_x \\ \hat{u}_y & \hat{v}_y & \hat{w}_y \\ \hat{u}_z & \hat{v}_z & \hat{w}_z \end{pmatrix}.$$

$$q_0 = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right), q_1 = \hat{x} \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right),$$

$$q_2 = \hat{y} \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right), q_3 = \hat{z} \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right),$$

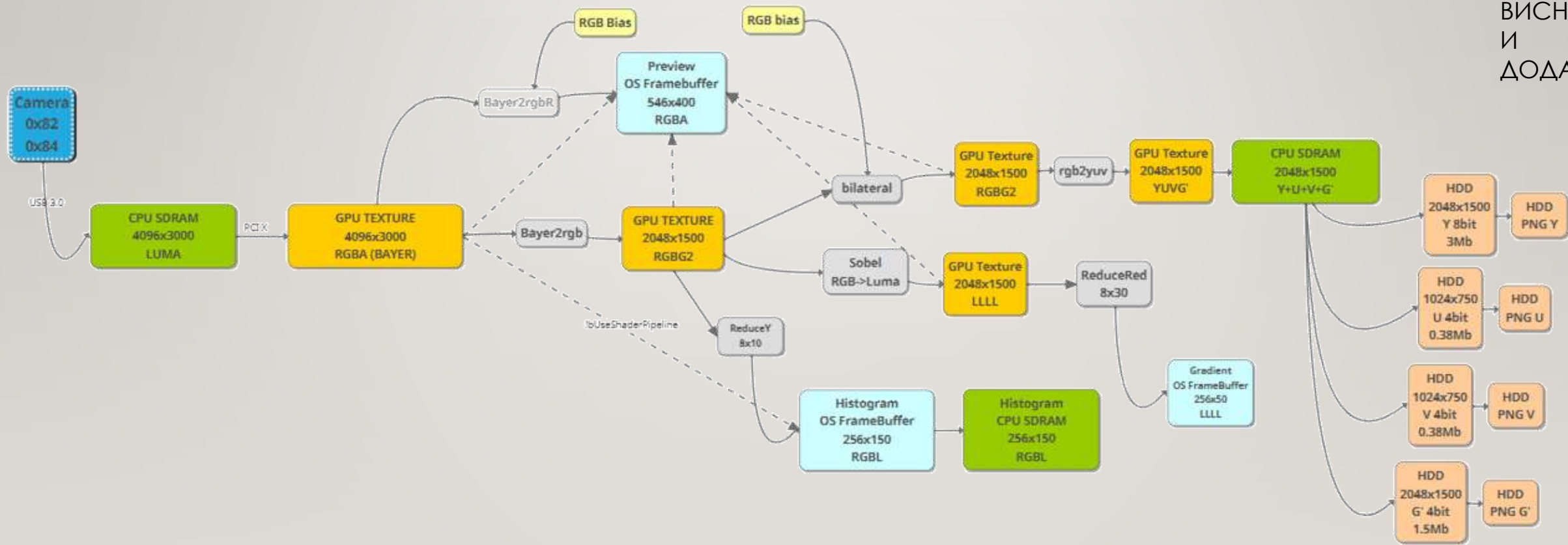
$$\theta = 2\arccos(q_0), \hat{x} = \frac{q_1}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \hat{y} = \frac{q_2}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \hat{z} = \frac{q_3}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}.$$



9

СХЕМА ОБРОБКИ ПОТОКІВ ДАНИХ SIMD ПРОЦЕСОРОМ ОЕС

ВСТУП
РОЗДІЛ 1
РОДІЛ 2
РОДІЛ 3
РОДІЛ 4
РОДІЛ 5
РОДІЛ 6
РОДІЛ 7
ВИСНОВК
И
ДОДАТКИ

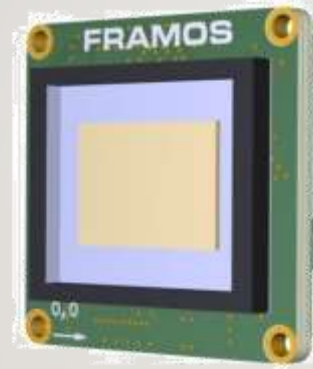


10 АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ НС POLYITAN-3-PUT



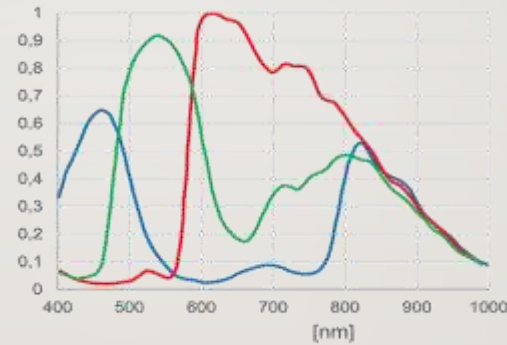
Процесор Broadcom 2711

- Технологія 28нм
- ARM Cortex A-72
- Робоча температура -20°C $+85^{\circ}\text{C}$
- Частота 1.5ГГц
- Потужність, що споживається 4Вт
- ОС Linux Debian 11

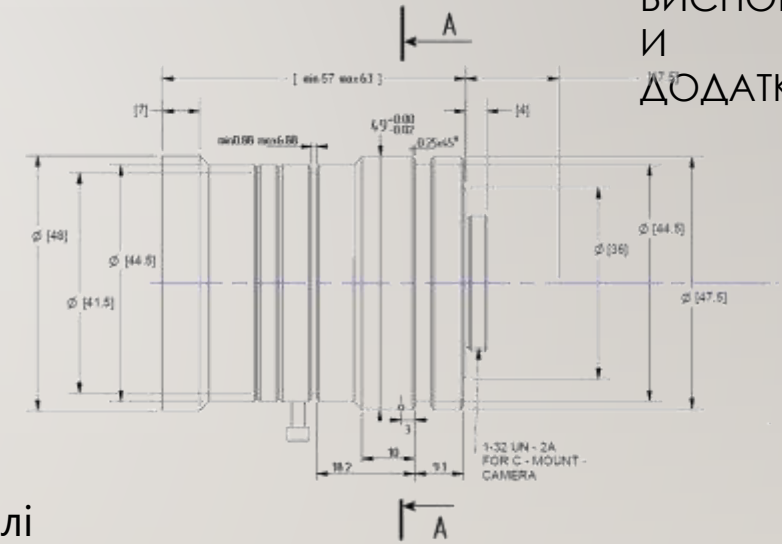


Сенсор SONY IMX304

- Розрізнення 12.4 Мп



Залежності чутливості сенсору від довжини хвилі



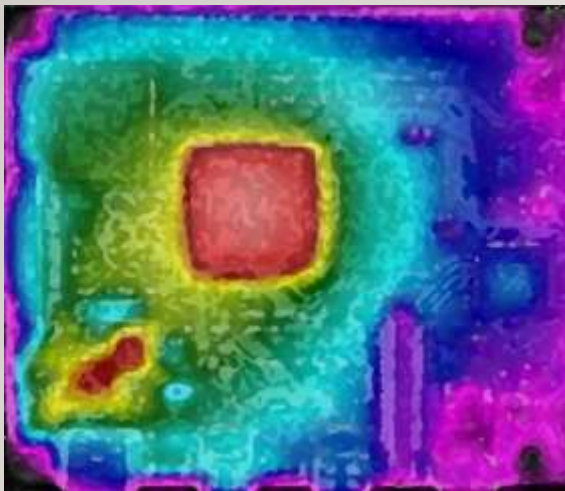
Об'єктив Navitar

- Фокусна відстань 75мм

11 СИСТЕМА ВІДВОДУ ТЕПЛА ВІД ПРОЦЕСОРУ ОЕС

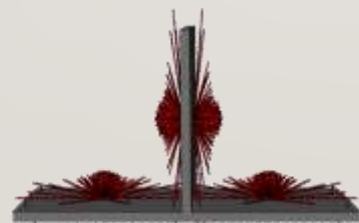
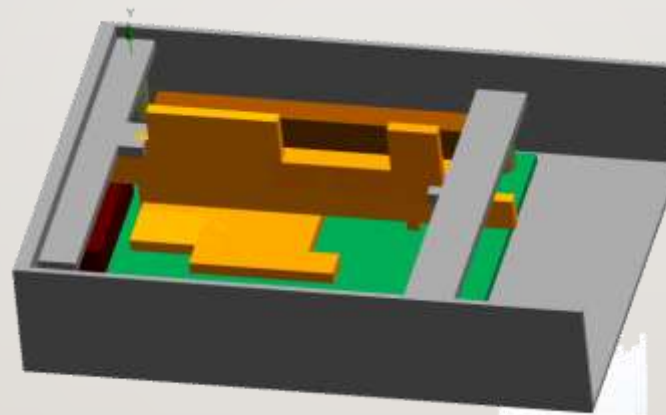
- ВСТУП
- РОЗДІЛ 1
- РОЗДІЛ 2
- РОЗДІЛ 3
- РОЗДІЛ 4
- РОЗДІЛ 5
- РОЗДІЛ 6
- РОЗДІЛ 7
- ВИСНОВК
- И
- ДОДАТКИ

Термокарта плати ОЕС в повітрі



35°C  75°C

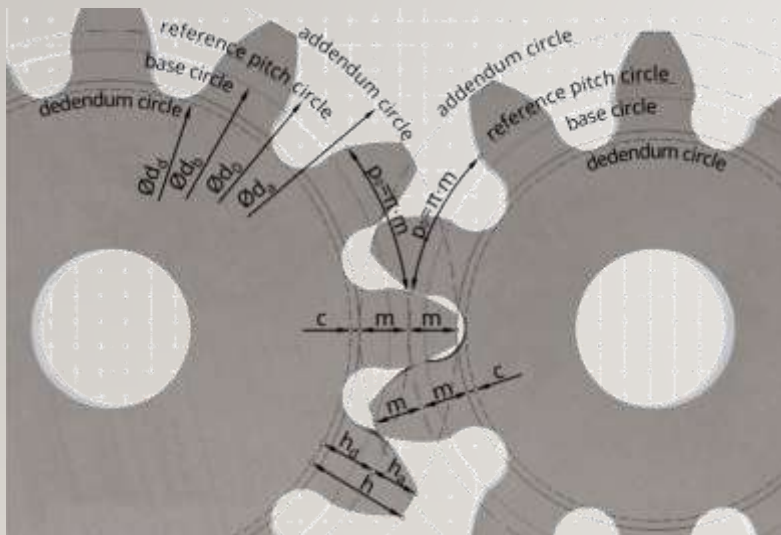
3D модель радіатора



Вигляд встановленого радіатора



12 СИСТЕМА ФОКУСУВАННЯ ОБ'ЄКТИВУ



Розроблено програмний застосунок розрахунку шестерень без підрізів

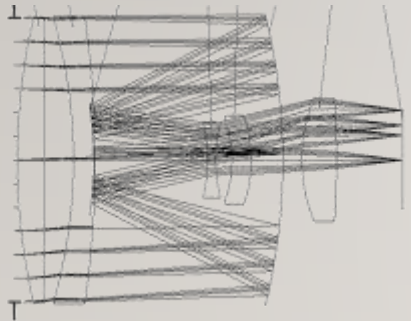


Зубчаста передача з передавальним числом 6.33



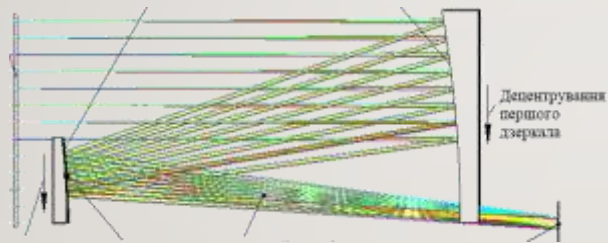
Об'єктив ОЕС з актюатором

МОДЕЛІ ОБ'ЄКТИВІВ НС ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ПОШУКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН



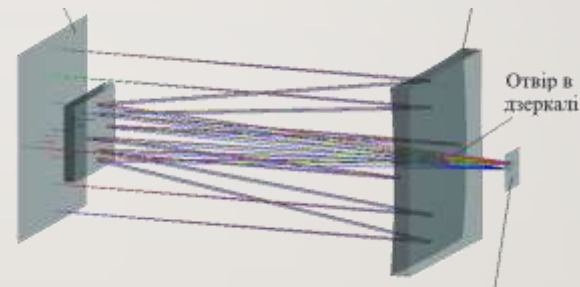
Об'єктив 1

- прямофокусний
- фокусна відстань 360мм
- габарит 122,8 мм
- переваги
 - сферичні поверхні*
 - відсутні дзеркала Манжена*



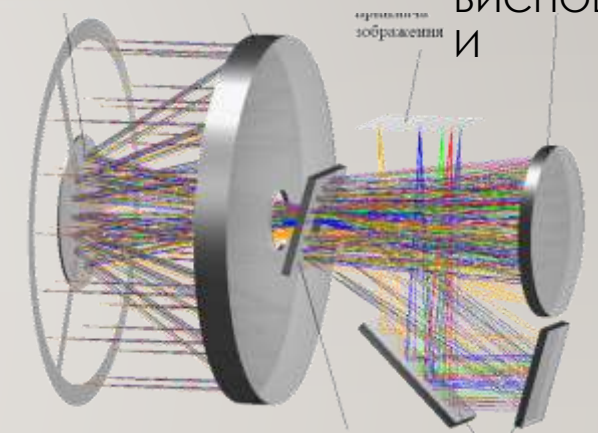
Об'єктив 2

- децентрована схема Річі-Кретьєна
- фокусна відстань 360мм
- габарит 122,8 мм



Об'єктив 3

- центрована схема Річі-Кретьєна
- фокусна відстань 360мм
- габарит 122,8 мм



Об'єктив 4

- схема Корша
- фокусна відстань 640мм
- Габарит 170 мм

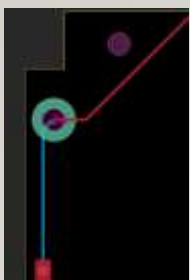
14 СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ НС POLYITAN-3-PUT

- ВСТУП
- РОЗДІЛ 1
- РОДІЛ 2
- РОДІЛ 3
- РОДІЛ 4
- РОДІЛ 5
- РОДІЛ 6
- РОДІЛ 7
- ВИСНОВК
- И
- ДОДАТКИ

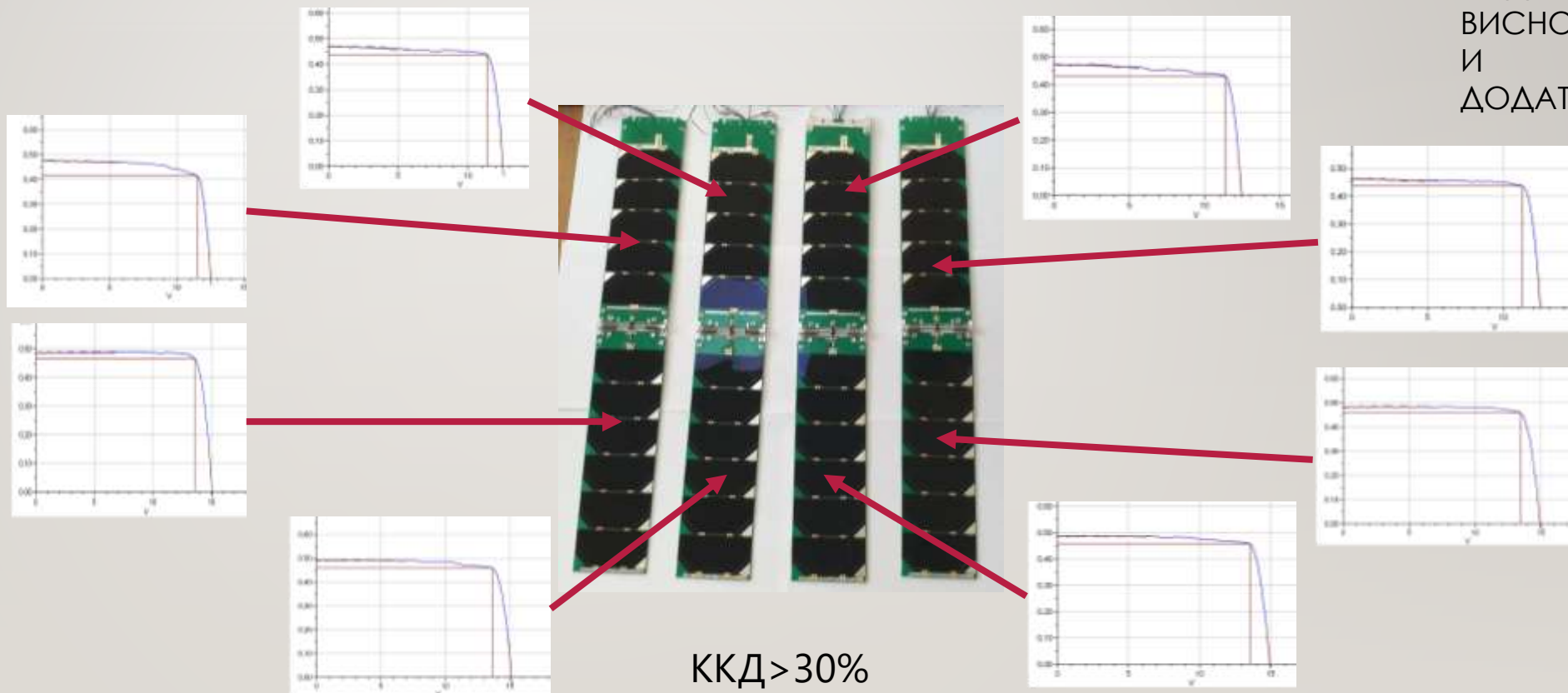


схема підключення сонячних елементів панелі

- зменшує втрату енергії
- знижує магнітний момент



доріжки, що розсіюють статичну електрику



ККД > 30%

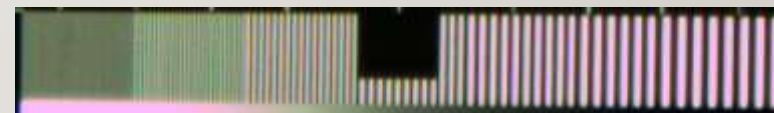


Тестове зображення

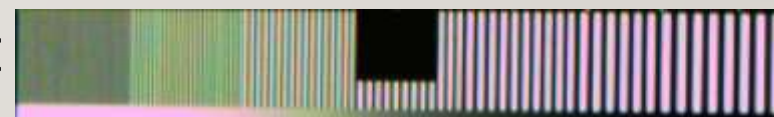
14°C



-20°C



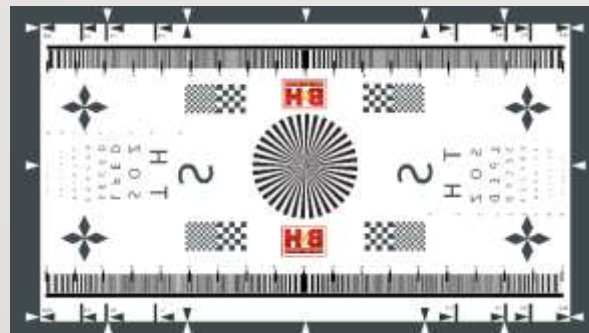
40°C



16

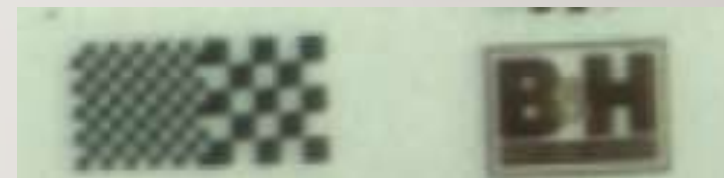
ВАКУУМНІ ЛАБОРАТОРНІ ВИПРОБУВАННЯ ВХІДНОГО БЛОКУ ОЕС

ВСТУП
РОЗДІЛ 1
РОДІЛ 2
РОДІЛ 3
РОДІЛ 4
РОДІЛ 5
РОДІЛ 6
РОДІЛ 7
ВИСНОВК
И
ДОДАТКИ

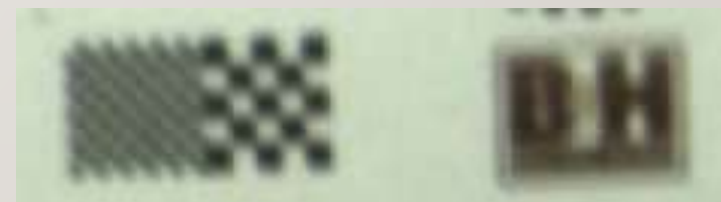


Тестове зображення

749 мм рт.ст.



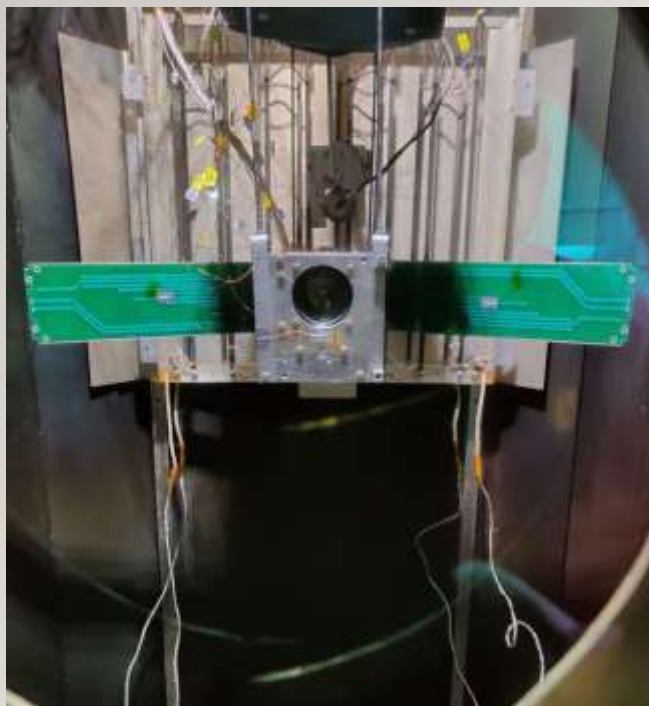
0.1 мм рт.ст.



17

ТЕРМОВАКУУМНІ ЛАБОРАТОРНІ ВИПРОБУВАННЯ НС POLYITAN-3-PUT

ВСТУП
РОЗДІЛ 1
РОДІЛ 2
РОДІЛ 3
РОДІЛ 4
РОДІЛ 5
РОДІЛ 6
РОДІЛ 7
ВИСНОВК
И
ДОДАТКИ



18°C
749 мм рт.ст.



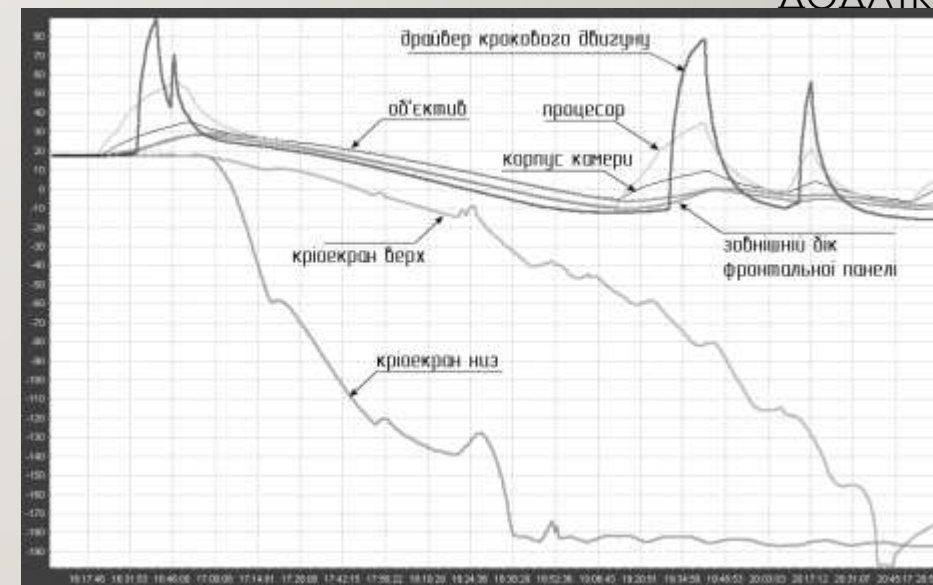
18°C
 5×10^{-5} мм рт.ст.



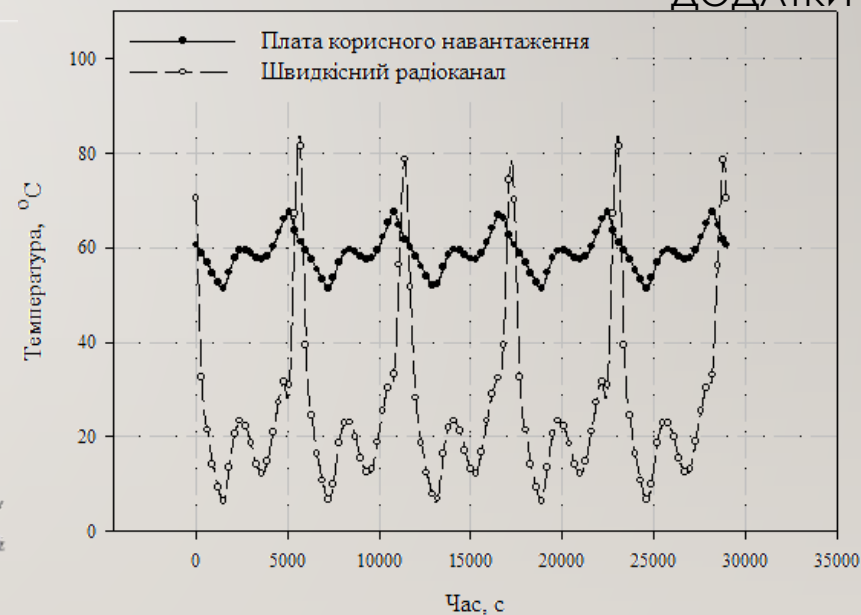
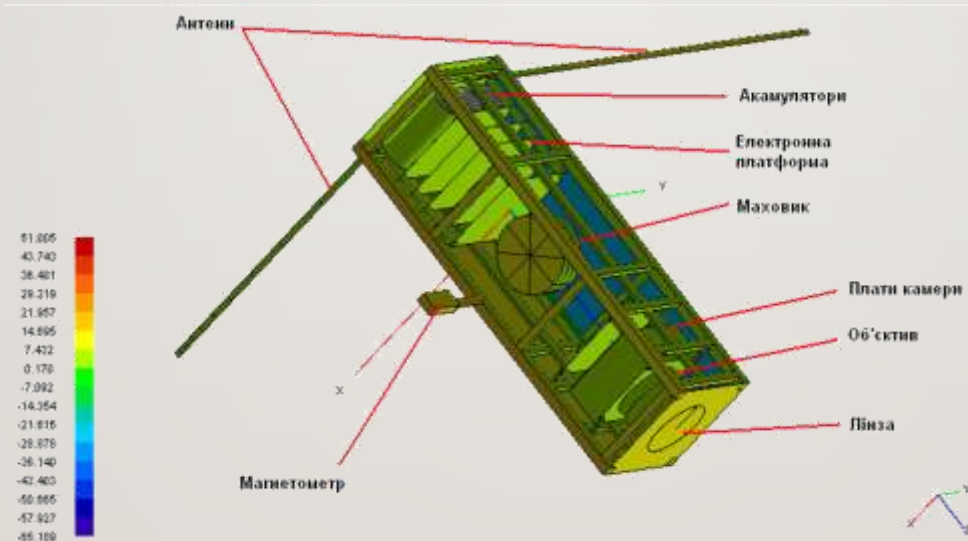
18°C
 5×10^{-5} мм рт.ст.



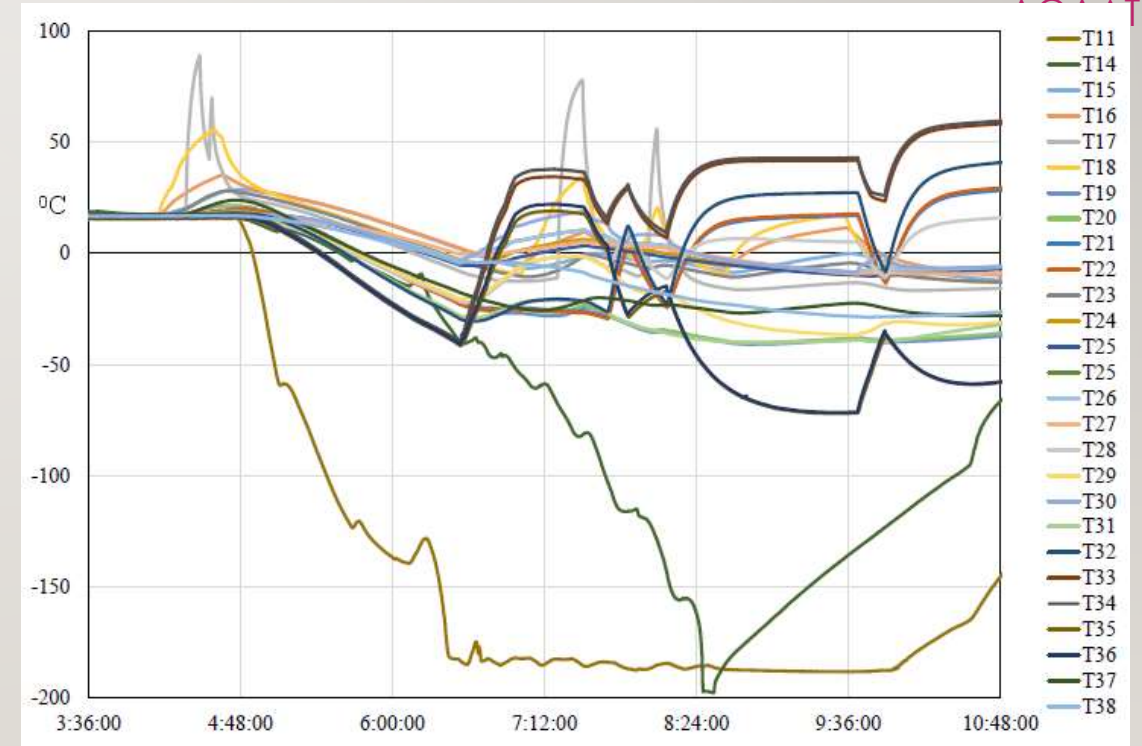
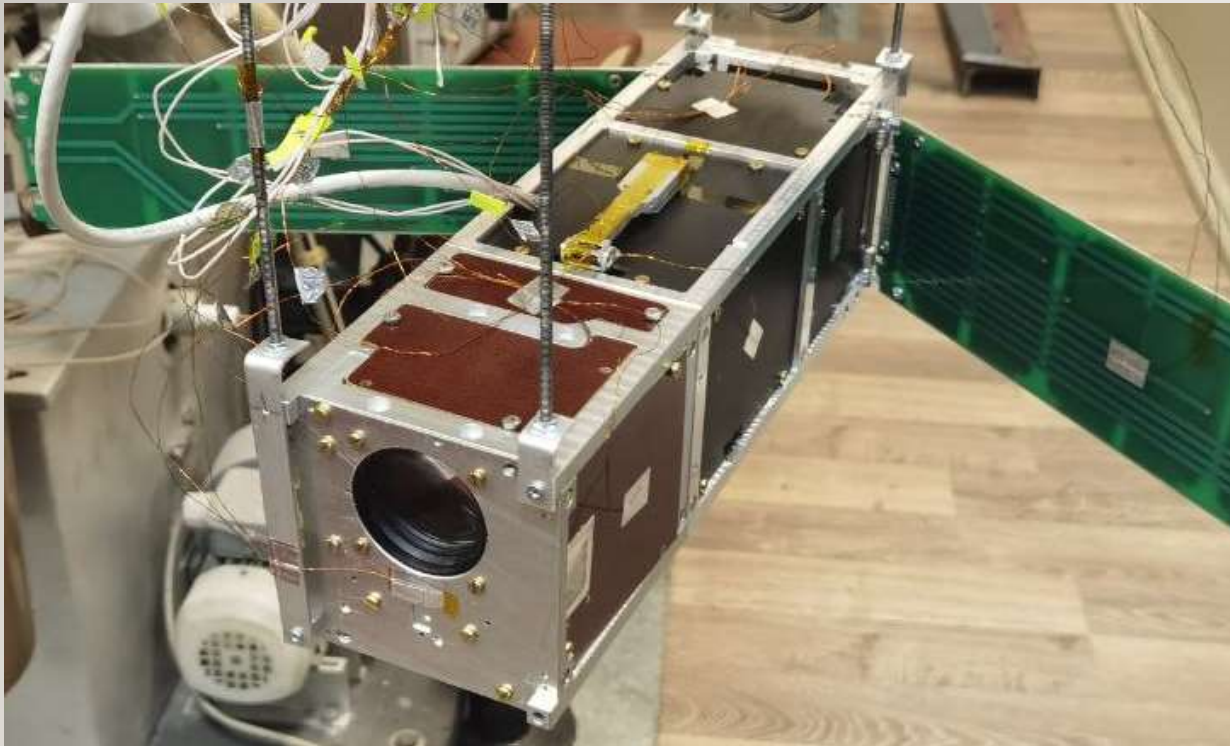
-5.8°C
 5×10^{-5} мм рт.ст.



МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ НС POLYITAN-3-RUT В УМОВАХ ДІЇ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ



ДОДАТОК Л ДАНІ ТЕРМОДАТЧИКІВ ПРИ ТЕРМОВАКУУМНОМУ ТЕСТІ ПРОХОДЖЕННЯ ОРБИТИ



20 УКЛАДЕНІ ГОСПОДАРЧІ ДОГОВОРИ

№ з/п	Назва предмету договору/угоди	№ договору/угоди	Дата укладання договору/угоди	Термін дії договору/угоди	П.І.Б. наукового керівника та/або виконавців, які виконували договір/угоду з оплатою праці	Фактичний обсяг фінансування договору/угоди за 2022-2023 рр., грн
1	Розроблення високоефективних систем нагріву та охолодження для комбінованого генератора теплової та електричної енергії	54ДНДЧ/0201.01/1500.02/250/2023	2023	2023-2024	Рассамакін Б.М.	526 000

21 Список потенційних замовників

№ з/п	Реквізити замовників, з якими велися переговори	Документи, якими зафіксовано переговори
1	Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України, Директор ЦАКДЗ М.О. Попов, 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55б, Тел. (044) 482-01-66	Лист підтримки від директору ЦАКДЗ Михайла Попова
2	Державне космічне агентство України, Голова ДКА В.В. Тафтай, 01010, м. Київ, вул. Князів Острозьких, 8, Тел.: +38(044) 281-62-00	Лист підтримки від голови ДКА
3	Познанський технічний університет	Документація Transmitter module від Rafal Krenz

СТУПІНЬ ГОТОВНОСТІ РОЗРОБКИ ДО ВИХОДУ НА РИНОК TECHNOLOGY READINESS LEVEL

TRL1 - Отримання базових принципів

TRL2 - Формулювання технологічних рішень

TRL3 - Перша оцінка ефективності застосування ідеї і технології

TRL4 - Підтвердження працездатності готового прототипу в лабораторії

TRL5 - Перевірка прототипу в робочому середовищі користувача

TRL6 - Випуск дослідного зразка продукту, включаючи тестування в робочому середовищі користувача

TRL7 - Демонстрація пілотного виробництва на низькому рівні

TRL8 - Виробництво повністю перевірено, затверджено і готове до запуску

TRL9 - Виробництво повністю запущене, а продукт конкурентний