УДК 52“731”(15)-13:523.31-853“742”
КП 72.19.50-00.00
№ держреєстрації 0118U003986
Інв. №

Національна академія наук України
Державне космічне агентство України
Інститут космічних досліджень
(ІКД)
03187, Київ, проспект Академіка Глушкова, 40, корпус 4/1;
тел./факс: (044) 526 41 24, e-mail: ikd@ikd.kiev.ua, http://www.ikd.kiev.ua/

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
Інституту космічних досліджень
НАН України та ДКА України
чл.-кор. НАН України

О.П. Федоров

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ, ОБРОБКИ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДАНИХ КОСМІЧНОГО ПРОЕКТУ «ІОНОСАТ – МІКРО»
(Проміжний звіт)

Керівник НДР
зав. лабораторією,
канд. фіз.-мат. наук, с.н.с. Г.В. Лізунов

Відповідальний виконавець
м.н.с. О.В. П’янкова

2018

Рукопис закінчено 30 листопада 2018 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР Зав. лабораторією, канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.	Г.В. Лізунов (реферат, вступ, висновки, редагування всіх розділів)
Відповідальний виконавець М.н.с.	О.В. П’янкова (всі розділи)
С.н.с., канд. фіз.-мат. наук, с.н.с.	О.С. Парновський (розділ 1)
С.н.с. канд. фіз.-мат. наук, доцент	В.М. Решетник (всі розділи)
Н.с.	Т.В. Скороход (розділ 2)
Пров. інж.	Д.І. Власов (розділи 2)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 30 стор., 5 рис., 4 табл.

Об'єкт дослідження – інформаційні системи збору, обробки та розповсюдження даних перспективних супутникових проектів в області геокосмічних досліджень.

Мета роботи – розробка теоретичних засад побудови належного програмно-технічний комплексу, розробка та модернізація його програмних компонентів.

Методи дослідження – системний аналіз.

Об'єктом розробки є програмно-технічний комплекс збору, оброблення та розповсюдження даних космічного експерименту «Іоносат-Мікро» на супутнику «Мікросат-М». У звітний період завершено розробку теоретичних засад побудови програмно-технічного комплексу, архітектури та плану-графіку його створення із плановою датою введення комплексу в експлуатацію у 2020 році. З використанням архівних даних забезпечено розробку окремих програмних компонентів інформаційної системи комплексу, включаючи модернізацію web-інтерфейсу, розробку та відпрацювання механізмів завантаження даних, а також механізму тарування і валідації даних вимірювань розробниками бортових приладів.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС, БАЗА ДАНИХ, ОБРОБКА ДАНИХ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Умови одержання звіту: за договором. 01030, м. Київ, вул. Володимирська, 54;
тел.: (044) 239 64 44, факс: (044) 234 32 43, e-mail: prez@nas.gov.ua

ЗМІСТ

Список авторів 2

Реферат 3

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів 5

Передмова 7

Вступ 8

1. Концептуальні засади побудови інформаційної системи PROMIS 11

1.1 Архітектура системи 11

1.2 Порядок обробки та класифікація рівнів представлення даних вимірювань 14

1.3 План-графік побудови програмно-технічного комплексу PROMIS 19

2. Проектування програмних компонентів інформаційної системи PROMIS 22

2.1 Модернізація інтерфейсу візуалізації даних 22

2.2 Проектування геопросторового функціоналу 26

2.3 Інші програмні компоненти 29

Висновки 30

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЦП	аналогово-цифровий перетворювач
АГЧ	аналізатор густини частинок
БД	база даних
ДКА	Державне космічне агентство України
ДП «КБ «Південне»	Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля
ІД-2	Іонний дрейфометр (прилад КНА «Іоносат – Мікро»)
ІКД	Інститут космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України
ІТМ	Інститут технічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України
КА	космічний апарат
КЕ	космічний експеримент
КНА	комплекс наукової апаратури
ЛЦ ІКД	Львівський центр Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України
МАВС-Б	Малогабаритна астровимірювальна система (прилад корисного навантаження КА)
НАН України	Національна академія наук України
НЦУВКЗ	Національний центр управління та випробування космічних засобів
ОС	операційна система
СЗНІ	блок системи збору, обробки та збереження даних вимірювань і управління на борту КА (Система Збору Наукової Інформації)

СУБД	система управління базами даних
ПЗ	програмне забезпечення
TMI	телеметрична інформація
API	Application Programer's Interface (інтерфейс прикладного програмування)
FTP	File Transfer Protocol (протокол передачі файлів)
JSON	формат даних зручних для використання людиною, може використовуватись у якості структури обміну даними (від JavaScript Object Notation)
MWC	Magneto Wave Complex (прилад КНА «Іоносат – Мікро»)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Національна аерокосмічна адміністрація)
ORM	Object-Relation Mapping (об'єктно-реляційне відображення)
PROMIS	Центр збирання, оброблення та розповсюдження даних КЕ «Іоносат – Мікро» в ІКД (від англ. PROcessed Measurements of Ionospheric Satellites – оброблені вимірювання іоносферних супутників)
REST	Representational State Transfer (передача стану представлення)
RFA	Radio Frequency Analyzer (прилад КНА «Іоносат – Мікро»)
SOA	сервіс-орієнтована архітектура компонентів
SQL	Structured Query Language (мова структурованих запитів до реляційних баз даних)
SRC-PAS	Space Research Centre of Polish Academy of Science (Центр космічних досліджень Польської академії наук)

ПЕРЕДМОВА

Цей звіт складено Інститутом космічних досліджень НАН України та ДКА України за результатами виконання науково-дослідної роботи за договором від 08.02.2018р. № 5-02/18 відповідно до Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018-2022 рр. та розпорядження Президії НАН України від 07.02.2018 № 75.

Об'єктом розробки є програмно-технічний комплекс збору, оброблення та розповсюдження даних космічного експерименту «Іоносат-Мікро» на супутнику «Мікросат-М». Інформаційна система комплексу призначена для забезпечення разом з іншими компонентами наземного сегменту космічної системи «Мікросат-М» багаторівневої обробки експериментальних даних, їх архівування і розповсюдження за допомогою світової мережі Internet. Інформаційна система створюється із забезпеченням можливості її подальшого розширення, таким чином, щоб додавання нових потоків даних (від нових приладів або космічних апаратів) здійснювалося уніфіковано, шляхом приєднання однотипних програмних модулів. Компоненти інформаційної системи експлуатуються в складі Центру збору, обробки та розповсюдження даних КЕ «Іоносат-Мікро», який створюється в Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України.

ВСТУП

Актуальним та стрімко зростаючим напрямком сучасних космічних досліджень є вивчення геокосмосу – атмосфери, іоносфери і магнітосфери Землі. З метою реєстрації параметрів геокосмоса in situ сьогодні реалізується або готується до скорої реалізації ціла серія масштабних супутникових проектів: Swarm та QB50 (Євросоюз), Chinese Seismo-Electromagnetic Satellite Mission (Китай), Ionospheric Connection Explorer (США), «Іоносат – Мікро» (Україна) та ін. Не викликає сумніву, що в майбутньому аналогічні місії будуть спрямовані для вивчення факторів космічного простору в околі Місяця і планет сонячної системи.

Керівництвом космічних проектів часто недооцінюється важливість створення належних систем збору, обробки і поширення супутникових даних. В області космічних досліджень склалася парадоксальна ситуація, коли науковим співтовариством обробляється і оприлюднюється лише незначна частка переданої на землю інформації. Безглуздість ситуації тим більше очевидна, що витрати на створення каталогів експериментальних даних складають малу частину витрат на створення і запуск власне космічних апаратів. В таких умовах кожен біт видобутої в космосі інформації стає «золотим». Сучасний науковий космічний проект, очевидно, не можна вважати ані успішним, ані завершеним до тих пір, поки не створено всеосяжний і загальнодоступний ресурс його результатів.

Специфіка систем обробки даних геокосмічних проектів визначається характером спостережень, що здійснюються у космосі, – тривалих сеансів реєстрації параметрів космічної середовища уздовж орбіти супутника (температури, концентрацій частинок, електричного і магнітного полів і т.д.; всього до декількох десятків найменувань параметрів). Одержані таким чином дані утворюють сотні тисяч і більше записів інформації, які підлягають розшифровці та спільному аналізу. Дані прив'язуються до місця розташування

супутника, а пошук даних в сховищі здійснюється за умовою перетину орбітою супутника просторово-часового вікна, що задається користувачем (на відміну, скажімо, від даних сонячних космічних телескопів, упорядкованих тільки по часу). Звідси випливають спеціальні вимоги до структури бази даних, до її web-інтерфейсу та API (Application Programmer's Interface). Відповідні програмно-технічні комплекси досі створювалися поштучно, під конкретний космічний проект, і в більшості своїй застаріли в силу стрімкого прогресу інформаційних технологій.

Слід зазначити, що аудиторія користувачів геокосмічних даних неоднорідна і включає велику некомерційну складову. Основними групами користувачів є самі учасники космічного експерименту, широкий загал вчених – експертів в галузі фізики космосу, ще більш широкий загал викладачів, студентів і просто осіб, які цікавляться космічними дослідженнями. В силу сказаного, система доступу до даних повинна мати дружній web-інтерфейс, зрозумілий «пересічному користувачеві».

В Інституті космічних досліджень НАН України та ДКА України ведуться роботи зі створення системи збору, обробки та розповсюдження даних перспективних супутникових проектів в області геокосмічних досліджень, програмно-апаратний компонент якої отримав найменування PROMIS (акронім від PROcessed Measurements of Ionospheric Satellites). Система PROMIS призначена, в першу чергу, для вітчизняного проекту «Іоносат – Мікро», але також може бути використана для розміщення даних інших місій. Система PROMIS має два фундаментальних призначення. По-перше, вона забезпечує багаторівневу обробку наукової інформації – від скачування даних з серверів приймальних станцій в форматі, в якому ці дані були передані з супутника на землю (бітовий потік), до створення каталогу тарованих експериментальних даних, представлених в загальноприйнятих в космічній фізиці одиницях вимірювань. По-друге, це система пошуку і вилучення з каталогу даних записів інформації, що цікавлять користувача, включаючи попередній перегляд даних (quick-look) і формування файлів даних на скачування в зручному

користувачеві форматі (текстовий, NetCDF та ін.).

Мета даної НДР полягає в подальшій розробці концептуальних засад побудови інформаційної системи PROMIS. В цій частині автори дослідження спиралися на власний досвід та на досвід створення інформаційних систем сучасних геокосмічних проектів, у першу чергу французького DEMETER та китайського Chinese Seismo-Electromagnetic Satellite Mission. Крім того, в рамках НДР була проведена розробка та модернізація ряду програмних компонентів інформаційної системи.

1. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ PROMIS

1.1 Архітектура системи

В основу розробки, що пропонується, покладено ряд концептуальних положень.

Положення 1. Потік наукової інформації, переданий зі супутника на Землю, проходить кілька обов'язкових стадій обробки, в тому числі:

− вилучення даних окремих приладів із загального потоку;

− збереження даних у вигляді, як вони були записані в систему збору інформації на борту супутника (дані першого рівня обробки);

− геопросторову прив'язку відліків даних;

− тарування даних з метою представлення вимірюваних параметрів в загальноприйнятих у фізиці космосу одиницях;

− збереження тарованих даних (дані другого рівня обробки);

− генерацію файлів даних на скачування за запитами користувачів і побудова квік-луків даних. Див. рис. 1.

Хоча технологія перерахованих кроків унікальна для кожного бортового приладу, послідовність кроків стандартна. Звідси випливає вимога до архітектури інформаційної системи, розрахована на можливість її використання в перспективних космічних місіях: забезпечити розширюваність системи таким чином, щоб додавання нових потоків даних в систему здійснювалося уніфіковано, шляхом приєднання однотипних програмних модулів.

Положення 2. Веб-інтерфейс інформаційної системи взаємодіє з серверної частиною (а при необхідності, з серверами зовнішніх геоінформаційних систем) за допомогою технології «Application Programmer's Interface» (API), розвиток якої є ще однією метою проекту. Більш того, для

користувача системи може виявитися кращим автоматизувати пошук і скачування даних шляхом звернення безпосередньо до API, без завантаження веб-інтерфейсу системи в цілому. З розумінням цієї обставини ставиться завданням розробка стандарту «геокосмічного API» (GAPI).

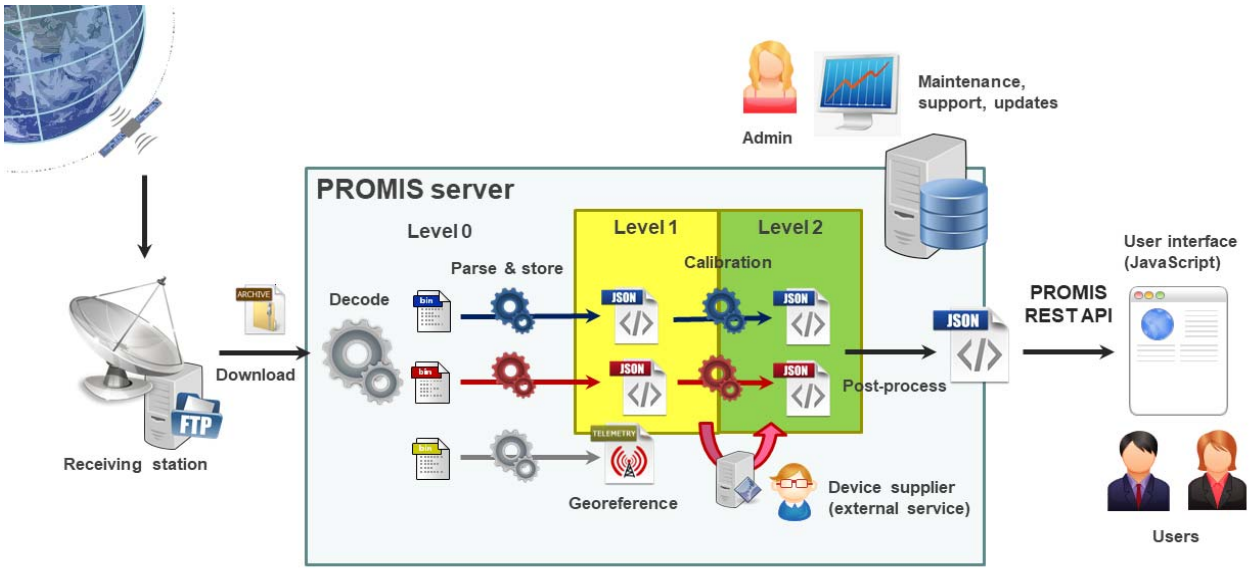

Рисунок 1 – Етапи обробки супутникових даних наземної інформаційною системою. Дані нового приладу додаються в систему шляхом додавання однотипного програмного модуля.

Положення 3. Web-інтерфейс системи повинен забезпечувати:

– візуалізацію сегментів супутникових орбіт, що проходять через заданий просторово-тимчасове вікно, на тлі географічних карт (2D і 3D);

– завантаження супровідної геофізичної інформації за вибором користувача (наприклад, сіток геомагнітних координат);

– автоматизацію функцій скачування сегментів записів даних у вікні пошуку в зручних користувачеві форматах;

– перегляд квік-луків даних.

Положення 4. Інтегральною складовою інформаційної системи є підсистема управління польотом, що автоматизує функції аналізу телеметричної інформації та планування сеансів зв'язку із супутником, а також

надає групі управління перелік вже реалізованих циклограм включень бортової апаратури, статистику роботи окремих приладів, портфель заявок на майбутні включення, балістичну інформацію на період планування, іншу необхідну інформацію.

Резюмуючи, виокремимо наступні завдання даної розробки:

− Забезпечити розширюваність системи таким чином, щоб додавання нових потоків даних в систему (від інших приладів і інших космічних апаратів) здійснювалося уніфіковано;

− Розробити перспективний веб-інтерфейс бази даних геокосмічних проекту (включаючи функціонали пошуку і вибірки даних в сховищі, функціонал побудови квік-луків, функціонал генерації файлу даних на скачування і т.д.);

− Розробити стандарт «геокосмічного API».

1.2 Порядок обробки та класифікація рівнів представлення даних вимірювань

На борту КА дані заносяться в систему збору наукової інформації (СЗНІ) у вигляді певної структури бінарних файлів. Сюди ж додається телеметрична інформація (ТМІ) службових систем КА, яка потрібна для подальшого аналізу наукових даних. Перед тим як направити дані в чергу передачі на землю, СЗНІ формує транспортні пакети згідно рекомендацій CCSDS щодо забезпечення завадостійкості й відновлюваності даних. Крім того, засобами радіолінії здійснюється додаткове кодування даних (кодування згортки).

Наземна станція прийому здійснює декодування згортки та розміщення отриманого бітового потоку на FTP-сервері, з якого файли бітового потоку автоматично скачуються системою PROMIS. Далі інформація піддається декільком циклам обробки, результати яких заносяться в сховище. Таким чином утворюються рівні представлення даних.

Рівень 0 зберігає бінарні файли, виділені з бітового потоку у вигляді, як вони були записані в СЗНІ на борту КА. Розпакування бітового потоку здійснюється автоматично за допомогою програмно-апаратних засобів розробників СЗНІ, інтегрованих в систему PROMIS. Рівень представлення даних 0 є внутрішнім, недоступним користувачам за межами системи PROMIS.

Рівень 1 містить дані вимірювань у форматі запису бортових приладів. Формування даних рівня 1 здійснюється шляхом вилучення даних з бінарних файлів та розділення даних за окремими вимірювальними каналами, при цьому, крім наукової інформації, виділяється ТМІ. На цьому ж етапі проводиться геоприв’язка даних: або за результатами прогнозу траси КА згідно балістичних параметрів, які надаються Центром управління польотом, або на основі ТМІ.

Рівень 2 зберігає таровані дані наукових вимірювань в одиницях, загальноприйнятих у фізиці іоносфери та адресованих широкому колу вчених-користувачів. Перетворення даних від 1-го до 2-го рівня здійснюється засобами

центру PROMIS або, опціонально, розробниками приладів. В першому випадку розробники приладів контролюють валідність даних через сервіси центру PROMIS. У другому випадку сервіси системи PROMIS відсилають дані 1-го рівня розробникам приладів, та чекають повернення тарованих даних. Повний перелік даних рівня 2 наступний:

- Дані магнітно-хвильового комплексу MWC – 3 компоненти постійного магнітного поля, 3 компоненти змінного магнітного поля, 3 компоненти змінного електричного поля, 3 компоненти густини змінного електричного струму;
- Дані аналізатору спектру RFA – спектри 3-х компонент електричного поля;
- Дані аналізатору щільності частинок АПЧ – концентрація і температура нейтрального газу, концентрація і температура електронної компоненти іоносферної плазми;
- Дані іонного дрейфометру ИД-2 – концентрація, температура і три компоненти швидкості дрейфу іонної компоненти плазми, спектр іонних неоднорідностей.

Рівень 3 виникає як результат обробки даних сервісами центру PROMIS за запитами користувачів (генерація квік-луків, застосування стандартних пакетів обробки даних тощо). Дані цього рівня не передбачають довгострокового зберігання в сховищі.

Обробники та кінцеві користувачі даних проекту «Іоносат – Мікро» – абоненти веб-порталу PROMIS – утворюють категорії, зазначені в таблиці 1. Доступ до даних здійснюється згідно умов, зазначених в таблиці 2.

Таблиця 1 – Статус користувачів даних КЕ «Іоносат – Мікро»

Статус користувача	**Опис**
Адміністратор	Системний адміністратор та оператор контролю за ходом космічного експерименту
Учасник експерименту	Член консорціуму авторів – постановників космічного експерименту «Іоносат – Мікро»
Учасник обробки даних	Особа, допущена до обробки даних рішенням Учасників експерименту
Авторизований сторонній користувач	Особа, яка зареєструвалася на сайті системи PROMIS
Спостерігач (неавторизований сторонній користувач)	Будь-який користувач, який відвідує сайт, але не реєструється на ньому

Таблиця 2 – Права доступу до даних

Користувач	**Дані 0-го рівня, TMI**	**Дані 1-го рівня**	**Дані 2-го рівня**	**Дані 3-го рівня**
Адміністратор	Так	Так	Так	Так
Учасник експерименту	Ні	Так	Так	Так
Учасник обробки даних	Ні	Відповідно до рішення Постановників експерименту		
Авторизований сторонній користувач	Ні	Ні	Так, через 6 місяців	Так, через 6 місяців
Спостерігач (вільний доступ)	Скорочений набір оглядової інформації			

Таблиця 3 – План-графік створення програмно-технічного комплексу PROMIS

№	Найменування робіт	2018 р.	2019 р.		2020 р.	
		II	I	II	I	II
1	Адаптація модулю декодування бітового потоку до інформаційної системи PROMIS					
2	Розроблення системи управління процесом декодування бітового потоку та збереження даних 0-го рівня (спільно з розробниками СЗНІ)					
3	Узгодження та відпрацювання процедур завантаження даних з серверів прийомних станцій (НЦУВКЗ)					
4	Узгодження та відпрацювання процедур обміну даними з КПСП «Арсенал» та ДП «КБ «Південне»					
5	Розробка компонентів завантаження даних різної структури до бази даних інформаційної системи PROMIS та відпрацювання їх роботи з використанням архівних даних					
6	Відпрацювання компонентів завантаження до бази даних інформаційної системи PROMIS з використанням даних імітаторів приладів КНА “Іоносат-Мікро” та відповідне коригування ПЗ					
7	Розробка модулів тарування та валідації даних в складі інформаційної системи PROMIS					
8	Налаштування модулів тарування стосовно до даних КНА “Іоносат-Мікро”, інтеграція сторонніх сервісів обробки (спільно з розробниками приладів)					
9	Розробка компонентів вдосконалення веб-інтерфейсу інформаційної системи PROMIS на підставі відгуків, отриманих після оприлюднення демонстраційної версії					
10	Коригування компонентів веб-інтерфейсу інформаційної системи PROMIS за результатами автономного тестування					

		2018 р.	2019 р.		2020 р.	
11	Розробка системи резервного копіювання даних інформаційної системи PROMIS					
12	Створення автоматичних сценаріїв безперервного тестування інформаційної системи PROMIS					
13	Розробка сервісу доступу сторонніх користувачів до системи PROMIS та їх аутентифікації					
14	Розроблення підсистеми контролю та управління інформаційною системою PROMIS, в т.ч. веб-інтерфейсу оператору					
15	Розробка стандарту API для геокосмічних інформаційних систем					
16	Розроблення інструкцій користувача та адміністратора					
17	Доопрацювання, узгодження та затвердження Положення про порядок взаємодії при плануванні та проведенні КЕ "Іоносат-Мікро"					
18	Створення експлуатаційного зразка серверного комплексу та перенос ПЗ з макетного зразку на експлуатаційний					
19	Автономні випробування та введення Центру PROMIS в дослідну експлуатацію					
20	Навчання персоналу					
21	Комплексні функціональні випробування та забезпечення роботи Центру PROMIS в тестовому режимі					

1.3 План-графік побудови програмно-технічного комплексу PROMIS

План-графік (дорожня карта) побудови програмно-технічного комплексу PROMIS наведено в табл. 3. Терміни виконання робіт визначені за умови запуску супутника «Мікросат-М» в 2021 році. Пояснення до плану-графіку надані в табл. 4.

Таблиця 4 – Пояснення до плану-графіку

Пункт плану-графіку	**Пояснення**
1. Адаптація модулю декодування бітового потоку до інформаційної системи PROMIS	Програмний код розпаковки інформаційного потоку, що поступає з КА, розроблюється в ЛЦ ІКД під ОС Windows. Цей код необхідно додатково адаптувати для сумісності із операційною системою Linux, 64-бітними процесорами та інтерфейсами системи PROMIS.
2. Розроблення системи управління процесом декодування бітового потоку та збереження даних 0-го рівня (спільно з розробниками СЗНІ)	Вищевказаний програмний модуль необхідно інтегрувати в інформаційну систему PROMIS: система має запускати декодування, управляти процесом, та зберігати результати (дані 0-го рівня) у сховиську.
3. Узгодження та відпрацювання процедур завантаження даних з серверів прийомних станцій (НЦУВКЗ)	Система PROMIS має автоматично скачувати інформацію з серверів прийомних станцій. Цей пункт робіт буде виконуватись після того, як в НЦУВКЗ буде створена відповідна інфраструктура.
4. Узгодження та відпрацювання процедур обміну даними з КПСП «Арсенал» та ДП «КБ «Південне»	Крім даних наукових вимірювань до СЗНІ записуються дані астродатчику МАІС-Б та анотаційна інформація службових систем КА. Ці додаткові дані мають виокремлюватись та передаватися до КПСП «Арсенал» та ДП «КБ «Південне» відповідно. Після обробки анотаційної інформації ДП «КБ «Південне» повертає до системи PROMIS так звану супровідну інформацію з уточненими значеннями положення, орієнтації і швидкості КА.
5. Розробка компонентів завантаження даних різної структури до бази даних інформаційної системи PROMIS та відпрацювання їх роботи з використанням архівних даних	Розроблюється набір програмних модулів для завантаження даних різних приладів КНА з використанням архівних даних відповідної структури. Ці модулі будуть отримувати на вхід файли, сформовані СЗНІ, виділяти дані з файлів та зберігати їх у базі даних системи PROMIS.

Пункт плану-графіку	**Пояснення**
6. Відпрацювання компонентів завантаження до бази даних інформаційної системи PROMIS з використанням даних імітаторів приладів КНА “Іоносат-Мікро” та відповідне коригування ПЗ	Налаштування ПЗ, розробленого на попередньому етапі, з використанням даних імітаторів приладів КНА «Іоносат-Мікро»
7. Розробка модулів тарування та валідації даних в складі інформаційної системи PROMIS	Розроблюється набір програмних модулів для конвертації даних з формату показів приладів (дані рівня 1) до формату фізичних величин (дані рівня 2). Також розроблюється сервіс контролю якості даних. На цьому етапі розробка ПЗ ведеться з використанням архівних та модельних даних.
8. Налаштування модулів тарування стосовно до даних КНА «Іоносат-Мікро», інтеграція сторонніх сервісів обробки (спільно з розробниками приладів)	Налаштування ПЗ, розробленого на попередньому етапі, з використанням даних імітаторів приладів КНА «Іоносат-Мікро». Автоматизація оцінки якості даних. Інтеграція алгоритмів підвищення якості даних.
9. Розробка компонентів вдосконалення веб-інтерфейсу інформаційної системи PROMIS (друга черга) на підставі відгуків, отриманих після оприлюднення демонстраційної версії інформаційної системи у 2017 р.	В 2016 році була створена демонстраційна версія (перша черга) веб-інтерфейсу системи PROMIS. Отримані відгуки користувачів, на основі яких поставлені подальші завдання робіт: розробка механізму кешування даних та вдосконалення процедури їх скачування, вдосконалення сервісу візуалізації орбіт КА, реалізація сервісів завантаження та візуалізації геопросторових сіток, реалізація механізму локалізації інтерфейсу (інтерфейс буде доступний мовою користувача) тощо.
10. Коригування компонентів веб-інтерфейсу інформаційної системи PROMIS за результатами автономного тестування та відгуками користувачів	
11. Розробка системи резервного копіювання даних інформаційної системи PROMIS	Дані повинні зберігатися в декількох копіях, що створюються автоматично, і унеможливлюють втрати даних у аварійних ситуаціях.
12. Створення автоматичних сценаріїв безперервного тестування інформаційної системи PROMIS	Під час розробки система аналізуватиме зміни внесені розробниками, та автоматично перевірятиме працездатність системи і відповідність змін поставленим задачам.
13. Розробка сервісу доступу сторонніх користувачів до системи PROMIS та їх аутентифікації	Користувачі зможуть використовувати облікові записи сторонніх сервісів (наприклад, LinkedIn, ResearchGate тощо) для отримання доступу до системи (аутентифікація), а адміністратор зможе надати їм відповідні права перегляду даних.

Пункт плану-графіку	**Пояснення**
14. Розроблення підсистеми контролю та управління інформаційною системою PROMIS, в т.ч. веб-інтерфейсу оператору	Після запуску КА роботою Центру PROMIS будуть штатно керувати оператори Центру, в функції яких входить підготовка замовлень на вмикання наукової апаратури, контроль прийому та обробки даних. Необхідно належним чином автоматизувати цю роботу.
15. Розробка стандарту API для геокосмічних інформаційних систем	Web-інтерфейс інформаційної системи взаємодіє з серверної частиною (а при необхідності, з серверами зовнішніх геоінформаційних систем) за допомогою технології «Application Programmer's Interface» (API). Завданням цього пункту робіт є розробка нового стандарту – «геокосмічного API» (GAPI), що може використовуватись в майбутніх подібних системах.
16. Розроблення інструкцій користувача та адміністратора	Робота з системою PROMIS має бути належним чином документована.
17. Створення експлуатаційного зразка серверного комплексу та перенос ПЗ з макетного зразку на експлуатаційний	До сих пір розробка та налаштування ПЗ ведеться на обладнанні, яке не відповідає вимогам КЕ «Іоносат – Мікро» (по швидкості, надійності та об’ємам обробки даних). Закупка належного сучасного обладнання запланована ближче до дати запуску.
18. Автономні випробування та введення Центру PROMIS в дослідну експлуатацію	Робота Центру PROMIS має бути ретельно перевірена, а результати перевірки відповідним чином задокументовані.
19. Навчання персоналу	Йдеться про персонал операторів Центру PROMIS, адміністратора та про консорціум науковців – користувачів даних КЕ
20. Комплексні функціональні випробування та забезпечення роботи Центру PROMIS в тестовому режимі	Фактично, буде змодельований хід КЕ. До роботи буде залучений весь консорціум учасників КЕ.

2. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ PROMIS

2.1 Модернізація інтерфейсу візуалізації даних

Загальна організація доступу до даних через Web-додаток зображена на рис. 1. Web-інтерфейс (Frontend) системи PROMIS взаємодіє з серверної частиною Web-додатку (Backend) (а при необхідності, і з іншими серверами) за допомогою технології REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface). Для користувача може виявитися зручнішим автоматизувати свій власний пошук і скачування даних зі сховища шляхом звернення безпосередньо до API, оминаючи Frontend системи PROMIS.

Але стандартним способом доступу до даних є Web-інтерфейс PROMIS (рис. 2), в якому реалізовані зручні засоби пошуку даних за назвою вимірювального параметру та за умовою перетину орбітою супутника просторово-часового вікна, заданого користувачем. Web-інтерфейс має заголовок, нижній колонтитул та основну частину сайту, на якій розміщені функціональні вікна. У заголовку, крім логотипу та посилання на сайт проекту «Іоносат – Мікро», розміщені функціонали авторизації та реєстрації користувачів, відповідно до статусу яких змінюється вигляд Web-інтерфейсу.

В основній частині сайту знаходяться чотири вікна. У вікні «Time and position» розташовані поля для вибору просторово-часової області пошуку даних. У вікні «Search» – поля вибору каналів вимірювань геокосмічних параметрів. У вікні «Search Results» виводяться результати пошуку. Але найцікавішим є вікно «Map», що містить мапу Землі (2D і 3D), яка, при необхідності, розгортається на весь екран. В цьому вікні візуалізується географічна область пошуку даних і фрагменти орбіт КА, для яких ці дані знайдені (рис. 2, 3).

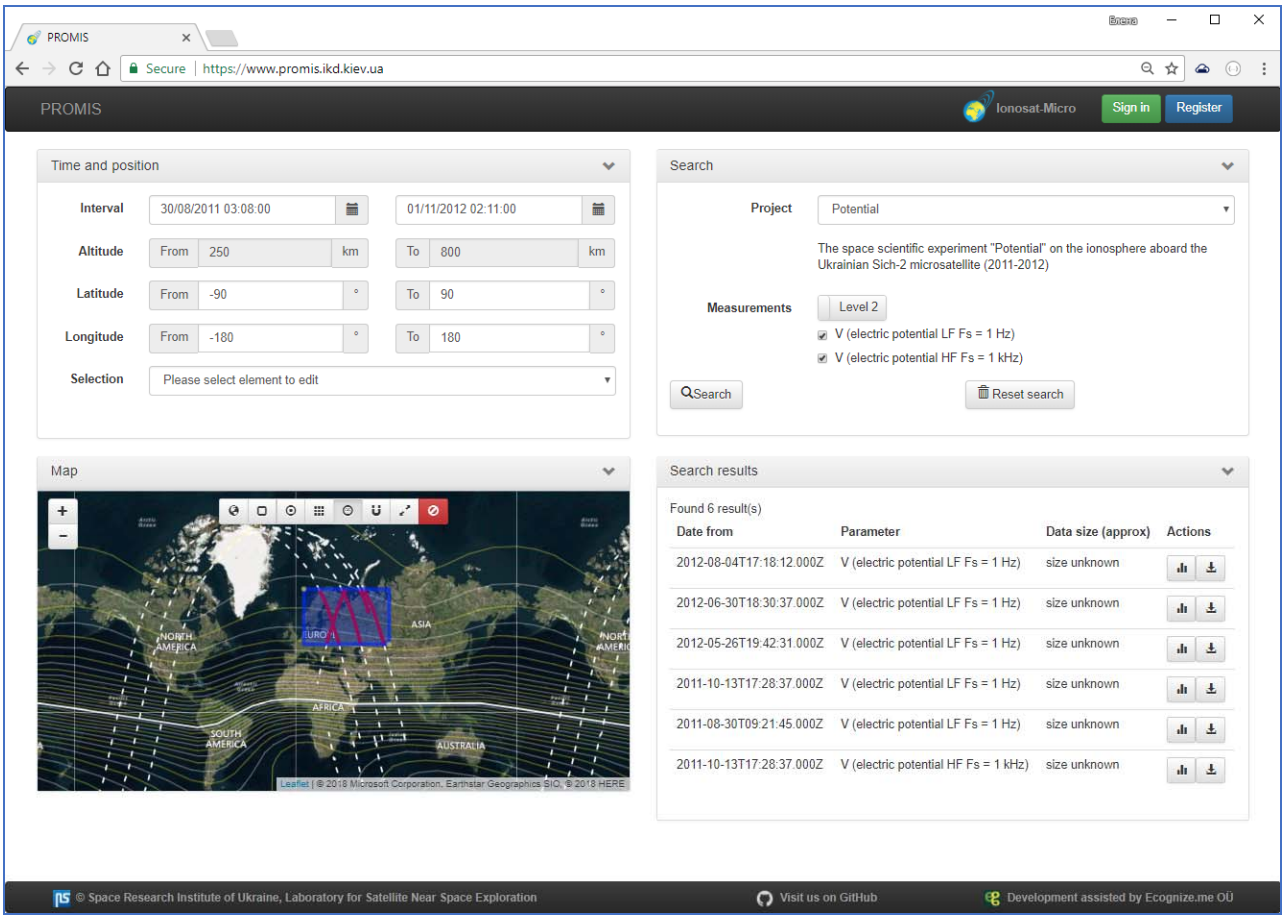

Рисунок 2 – Вигляд Web-інтерфейсу PROMIS

У вікні «Map» є своя панель інструментів:

- Перемикач з 2D на 3D мапу; кнопка розгортання мапи на весь екран; кнопка очищення мапи;
- Кнопки для активації вибору (малювання) області пошуку прямо на карті: на 2D мапі – прямокутної та кругової площадки, на 3D – довільної форми полігону;
- Кнопки увімкнення геопросторових сіток: географічних координат, геомагнітних координат, сіток магнітного поля Землі тощо. (Як ілюстрація, на рис. 2, 3 на мапу виведені ізолінії геомагнітного поля).

Пошук даних активується кнопкою «Search» у вікні «Search». Характерно, що якщо користувач не вибрав область пошуку, за замовчуванням пошук буде здійснюватися за весь період реалізації космічного експерименту над всім глобусом.

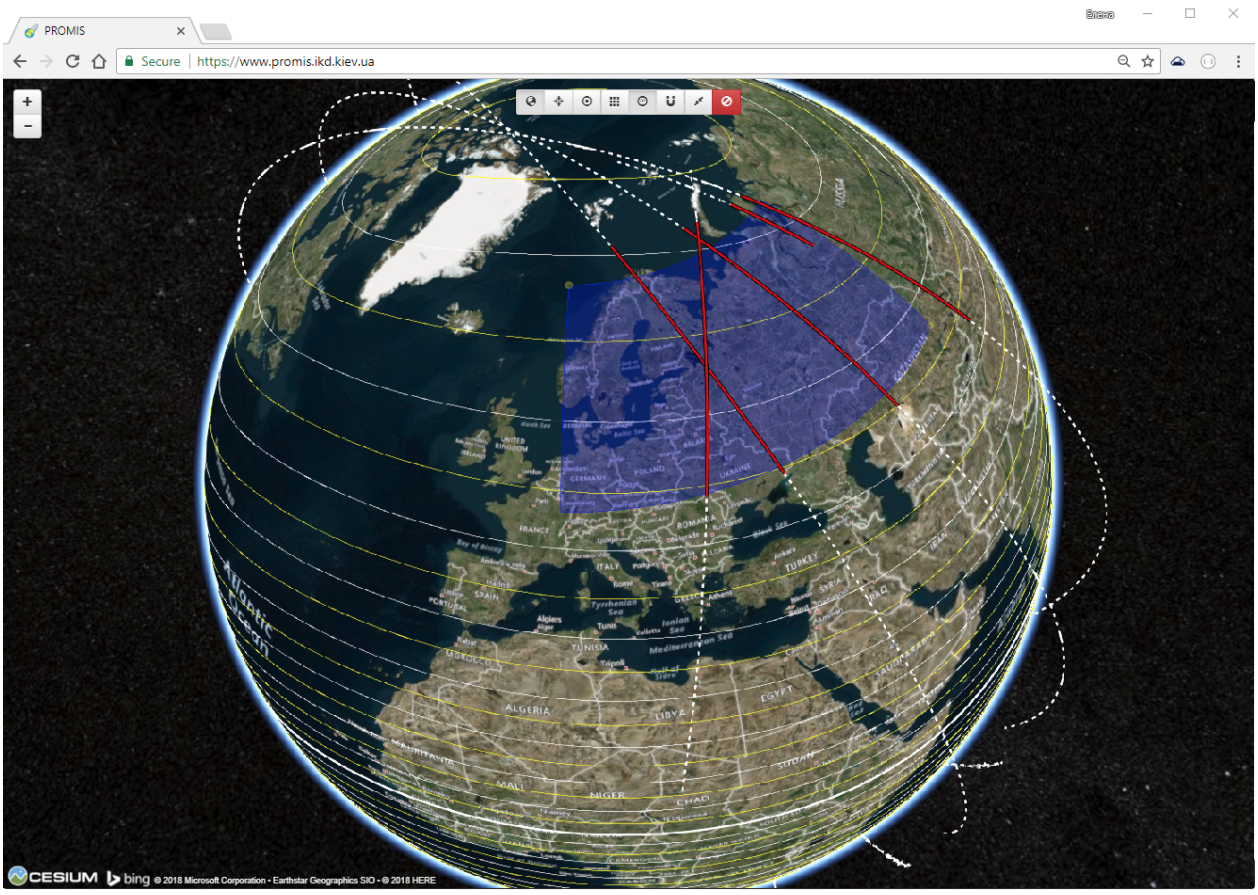

Рисунок 3 – Вікно «Map» в конфігурації 3D

Під час реалізації пошуку користувач бачить Progress Bar (індикатор виконання), та динамічне додавання результатів пошуку до таблиці «Search Result», а також промальовування знайдених орбітальних трас на мапі.

Таблиця «Search Result» формується з рядків даних, кожен з яких описує неперервну послідовність відліків вимірювань в заданому просторово-часовому вікні. Кожна така послідовність характеризується часом початку та закінчення неперервного вимірювання та назвою параметра. Користувач може оглянути дані натисканням на кнопку «Quick-look» (рис. 4), або активувати генерацію файлу даних на скачування натисканням на кнопку «Download». Для розуміння скільки часу та ресурсів затребує цей процес, в таблиці результатів вказується приблизний розмір файлу даних.

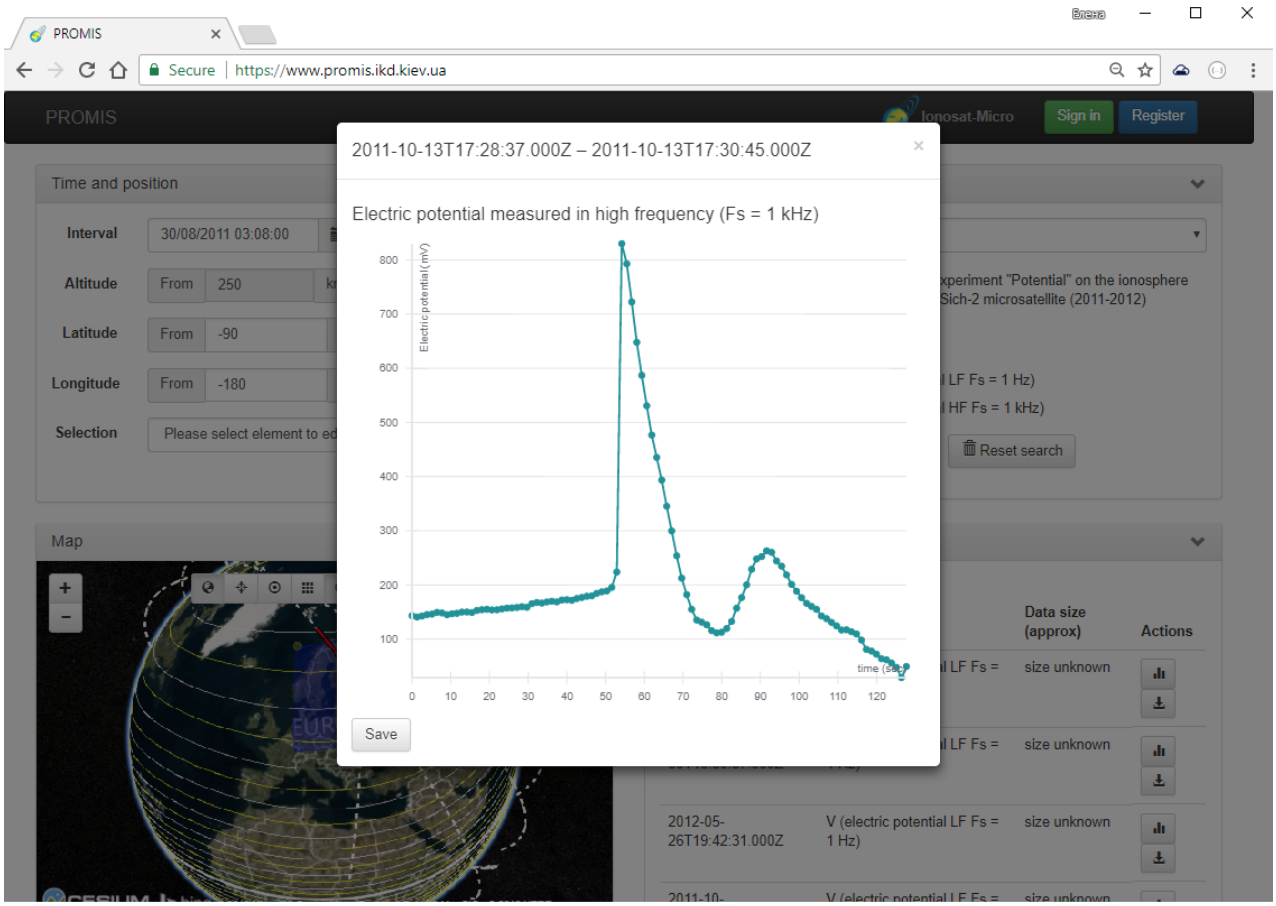

Рисунок 4 – Quick-look, графік розріджених даних

2.2 Проектування геопросторового функціоналу

В цьому підрозділі представлено результати дослідження використання функціоналу пакету GeoDjango для зберігання даних положення КА з можливістю проектування положення на географічну сітку, а також для формування фільтру вибірки даних на основі геопросторової площадки.

Пакет GeoDjango може підключатися до головного проекту у вигляді модуля та надає розширений функціонал для запровадження географічної прив'язки для WEB аплікацій. У нашому проекті функціонал пакету GeoDjango планується використовувати для збереження інформації про місцезнаходження КА у таблиці сесій вимірювань (Session), а також для пошуку подій знаходження КА над заданою геопросторовою площадкою.

Для розгортання пакету необхідно створити геопросторову БД у вигляді додатку PostGIS для реляційної бази даних PostgreSQL. Цей додаток надає підтримку географічних об'єктів та дозволяє виконувати просторові запити безпосередньо у БД на мові SQL або за допомогою ORM(у). Під час розгортання додатку слід встановити бібліотеки підтримки GEOS та PROJ4.

GEOS – це бібліотека, яка надає функціонал для роботи з геометричними об'єктами, які використовуються для побудови геометричного місця точок. За рахунок цієї бібліотеки є можливість створювати об'єкти типу точка, пряма, полігон (прямокутна область з точки зору проекції). Крім базового набору можна використовувати і більш складні об'єкти, які складаються з попередніх, а саме мутьтиточка, мультилінія, мультиполігон та геометрична колекція. Окрім можливостей створення геометричного місця точок бібліотека надає можливості передбачення, а саме пересікання, дотик, вміст, перекриття, покриття. Також надається доступ до операцій над поверхнями: розрахунок відстані між точками, валідність на основі шаблону, симетрична відмінність. Частина функціоналу цієї бібліотеки була випробувана для формування проекції орбіт на географічну сітку.

PROJ.4 – це бібліотека, яка використовується для проекцій. Дозволяє проводити перетворення для різного типу картографічних проекцій. Для прикладу дозволяє проектування географічних координат на проекцію Меркатора.

За наявності попередніх двох бібліотек можна розгортати PostGIS. PostGIS – це розширення до Postresql, яке дозволяє зберігати об’єкти геоінформаційних систем у реляційній БД Postresql за стандартом OpenGis. Містить підтримку GiST R-Tree просторових індексів, а також функції для аналізу та обробки об’єктів геоінформаційних систем. У проекті можна використовувати PostGIS для зберігання частин орбіт для сесій ввімкнення КНА, проектування на Меркаторівську проекцію орбіт, фільтрування даних на основі геопросторового запиту.

Клас-таблиця Session має містити час початку, час закінчення, код орбіти та об’єкт типу MultiLineString для збереження траєкторії прольоту КА над геопросторовою областю для цієї сесії. Цей об’єкт складається з одного або двох об’єктів типу LineString, яких формується у вигляді координат точок, послідовно з’єднаних прямими між собою. Розділення на два об’єкта LineString потрібні для правильного проектування геометричного місця точок на Меркаторівську проекцію у тому випадку, коли траєкторії КА під час сесії вимірювань перетинає 180° меридіан (межа проекції Меркатора) – один об’єкт до перетину 180° меридіану, другий після перетину. Іншими словами при переході довготи від додатних до від’ємних значень. Після формування 2-х частин витку їх перетворюють на об’єкти типу LineString, із яких формується MultiLineString об’єкт та записується до бази даних за допомогою ORM.

Результат візуалізації траєкторії прольоту КА протягом однієї сесії на меркаторській проекції Землі у стандартному адміністративному інтерфейсі Django виглядає, як показано на рис. 5. Зображено саме той випадок, коли траєкторія КА перетинає 180° меридіан. Дискретизація точок була взятою на рівні 100 точок на один виток орбіти.

Планується здійснювати пошук усіх сесій, які містяться у заданому

геопросторовомі вікні у визначений проміжок часу. Фільтрація за інтервалом часу є тривіальною задачею щодо пошуку в базі даних. Для геопросторової фільтрації зручно використовувати об’єкти типу Poligon або MultiPoligon, які формують геопросторове вікно або контур визначеної площадки над поверхнею планети. Отже фільтр буде шукати перетини MultiLineString записів сесій з площадкою, заданою Poligon або MultiPoligon.

Тестовий код для зчитування інформації у вигляді координат КА в екліптичній системі координат без врахування обертання Землі містить клас для формування об’єкту типу точка. Цей клас має можливість переходу від Декартової системи координат до сферичної. У подальшому планується розробити також функціонал повороту для переходу до географічної системи координат з урахуванням обертання Землі.

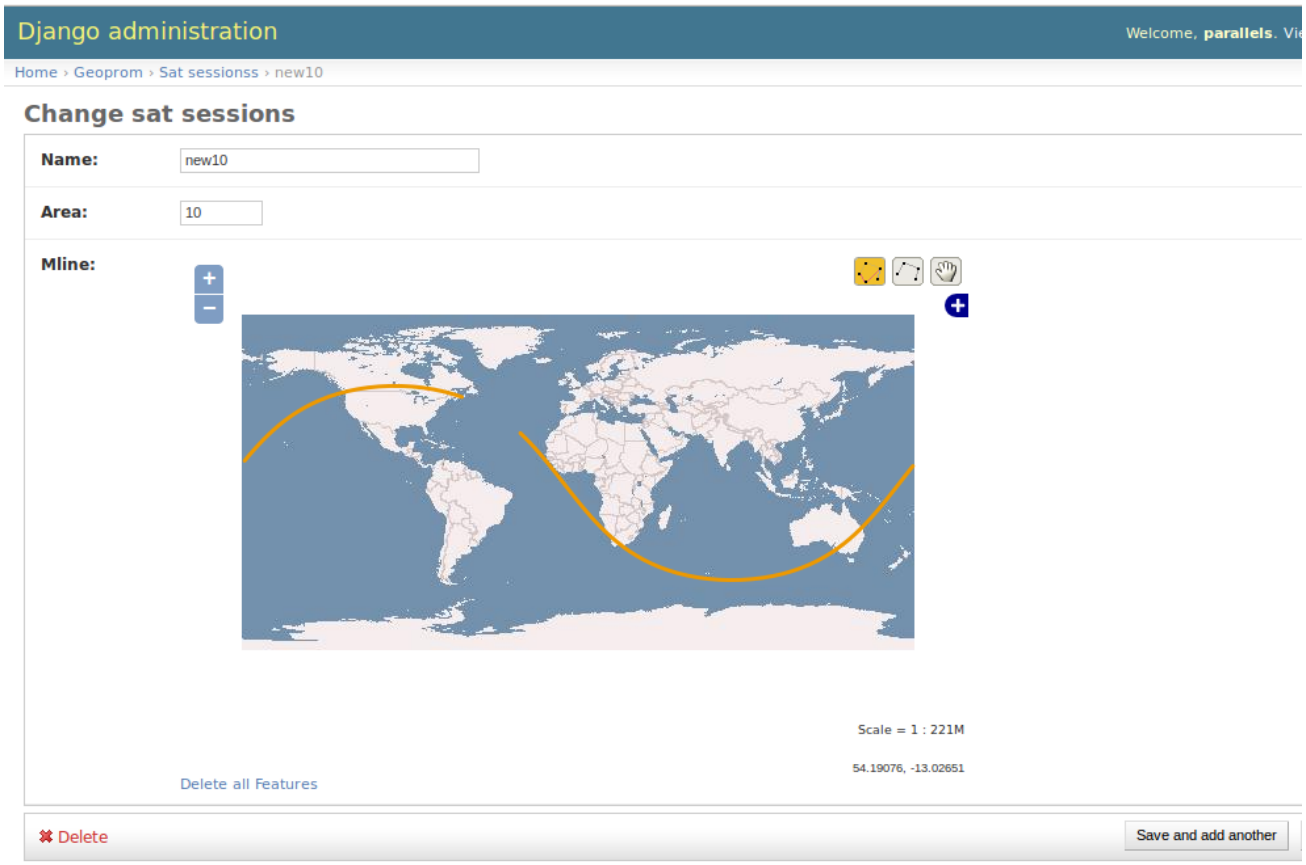

Рисунок 5 – Візуалізація траєкторію прольоту КА протягом однієї сесії вимірювань.

2.3 Інші програмні компоненти

Згідно технічного завдання виконано розробку та відпрацювання компоненту завантаження даних різної структури (з використанням архівних даних експериментів «Потенціал» та «Варіант»). Опис компоненту: Програмні модулі отримують на вхід файли, сформовані бортовою системою збору, накопичення та обробки наукової інформації, виділяють дані комплексу наукової апаратури та зберігають їх у базі даних системи PROMIS. До складу системи входить утиліта check_data_updates, яка у автоматичному режимі виконує завантаження даних із FTP-серверів та їх перетворення у формат, що відповідає внутрішньому формату бази даних системи. Оператор в командному режимі може обрати скачування даних з одного чи декількох проектів. Кожному проекту поставлено у відповідність набір модулів, що реалізують правила перетворення.

Виконано проектування механізму тарування і валідації даних розробниками бортових приладів. Опис компоненту: Під час роботи системи, дані перетворюються між рівнями обробки згідно заданих сценаріїв тарування. Оператор у web-інтерфейсі адміністрування має можливість змінити відповідність між типом даних та конкретним видом перетворення. Під час початкового внесення даних, а також при їх таруванні передбачена процедура валідації, яка дозволяє виявити помилкові або неякісні набори даних, специфічні до кожного типу даних. У пошукових запитах дані, які не успішно пройшли валідацію відображаються позначкою із червоним хрестом, щоб сигналізувати про потенційний брак якості.

Мови програмування: Python3

ВИСНОВКИ

Завершено розробку теоретичних засад побудови програмно-технічного комплексу PROMIS для збору, обробки та розповсюдження даних перспективних супутникових проектів в області геокосмічних досліджень. Комплекс призначений, в першу чергу, для вітчизняного проекту «Іоносат – Мікро», але також може бути використаний для розміщення та обробки даних інших місій. Розроблені архітектура та план-графік (дорожня карта) створення комплексу PROMIS із плановою датою його введення в експлуатацію у 2020 році. Забезпечено розробку окремих програмних компонентів інформаційної системи комплексу, включаючи модернізацію web-інтерфейсу, розробку та відпрацювання механізмів завантаження даних, а також механізму тарування і валідації даних.

Роботу виконано в повному обсязі у відповідності з технічним завданням.

Створена інформаційна система доступна в бета-версії за посиланням https://promis.ikd.kiev.ua і завантажена архівними даними експериментів «Варіант» на супутнику «Січ-1М» та «Потенціал» на супутнику «Січ-2». До моменту початку реалізації проекту «Іоносат – Мікро» система буде проходити декілька етапів тестування та міжвідомчих випробовувань. Автори звіту будуть щиро вдячні користувачам за виявлені помилки, відгуки та побажання щодо вдосконалення системи.

У 2019–2020 рр. планується завершення вказаних робіт, проведення випробувань, реалізація заходів з підготовки операторів комплексу.