

**В.В. Гніліцький, к.т.н., доц.
І.І. Варламова, магістрант**

Житомирський державний технологічний університет

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЙОМУ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ З КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Висвітлюються задачі програмно-алгоритмічного забезпечення щодо прийому, реєстрації та оперативного зберігання прийнятого потоку даних та результатів їх обробки на різних етапах. Розкриваються математичні моделі розрахунку цілевказівок та їх адаптації для систем автоматичного супроводження космічного апарата, які враховують особливості обраної вхідної інформації та вихідних параметрів, які вимагаються. Обґрунтовується вибір моделей організації баз даних як для початкових умов руху космічного апарата, так і зберігання цільової інформації. Визначаються умови, коли розроблений програмний комплекс може виступити альтернативою відповідним глибоко спеціалізованим та коштовним програмним комплексам.

Постановка проблеми у загальному вигляді. За останні десятиліття в багатьох країнах світу, в тому числі в Україні, відмічається значне поширення використання інформації космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для вирішення завдань сільського господарства, виробничих, наукових та багатьох інших [1]. Так, офіційний обіг інформації ДЗЗ в світі щорічно складає від 2,5 до 3 млрд. дол. Однак експерти вважають, що реально він складає близько 6 млрд. дол. В Україні яскраво проявилася тенденція використання інформації ДЗЗ з космосу не тільки на державному, а також на регіональному та місцевому рівнях, це стосується і Житомира.

В теперішній час пункти прийому інформації ДЗЗ, які експлуатуються в нашій державі, хоча і мають високі технічні характеристики, носять спеціальний відомчий характер та мають високу вартість, те саме можливо сказати про закордонні кошти. Це, в свою чергу, обумовлює високу вартість інформації ДЗЗ, що значно утруднює використання цієї інформації не тільки на місцевому, але і на регіональному рівні [2].

Вирішенням протиріччя, що створилося, є організація прийому інформації безпосередньо з космічних апаратів (КА) на місцевому рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для прийому інформації ДЗЗ необхідно мати відповідні технічні засоби та програмно-алгоритмічне забезпечення (ПАЗ). Для прийому інформації ДЗЗ необхідно мати відповідні технічні засоби та ПАЗ, при цьому останнє поділяється на ПАЗ обробки отриманої інформації та ПАЗ забезпечення прийому та зберігання даних [3].

На теперішній час для широкого кола користувачів є можливість застосування окремих програм загального призначення, наприклад WXtrack, TrakStar, SatSignal [4], які безумовно корисні та важливі. Однак цього не досить, існують такі недоліки, як неможливість розрахунку цілевказівок антенним системам засобів прийому інформації з упорядкування та зберігання початкових умов руху КА ДЗЗ, упорядкування зберігання файлів прийнятих даних й результатів їх обробки.

Розробка програм-компонент, які усувають ці недоліки, та забезпечення апаратної частини функціонування програмного комплексу прийому дасть можливість використання такого програмно-апаратного комплексу для прийому інформації ДЗЗ в умовах Житомирського державного технологічного університету.

Стратегія розробки цього комплексу полягає в першочерговій розробці програмних компонентів, які доповнюють програми широкого доступу. Відповідно до цього на першому етапі комплекс складається з програми розрахунку цілевказівок антенним системам, яка як початкові умови руху КА ДЗЗ використовує загальнодоступні TLE-файли (Two-Line Elements) [5], бази даних початкових умов руху КА ДЗЗ та бази даних для упорядкованого зберігання прийнятих потоків даних.

В зв'язку з цим **мета роботи** полягає в створенні універсального програмного комплексу забезпечення прийому та оперативного зберігання видової інформації з КА ДЗЗ і визначення складу, структури та характеристик обчислювальних засобів функціонування створеного комплексу.

Об'єкт дослідження – процес прийому, реєстрації та зберігання інформації з космічних апаратів.

Предмет дослідження – програмно-алгоритмічне забезпечення та обчислювальні засоби прийому та оперативного зберігання видової інформації з КА ДЗЗ.

Викладення основного матеріалу. Передача різних видів інформації, в тому числі видової інформації ДЗЗ, з борта космічних апаратів здійснюється по радіолінії «борт–Земля».

Видова інформація ДЗЗ після обробки сигналу у прийомному тракті оперативно реєструється в реальному масштабі часу, після чого здійснюється її попередня обробка (рис. 1) та нормалізація.

Результат кожного етапу зберігається деякий час та в подальшому передається споживачам на тематичну обробку та архівацію.

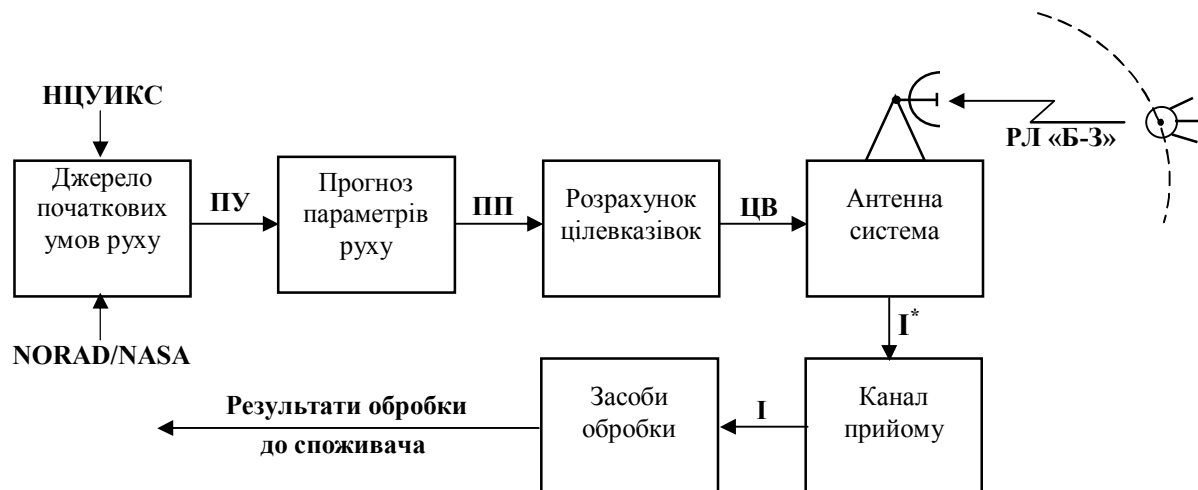


Рис. 1. Загальна структура прийому інформації з КА:
 ПП – прогнозовані параметри; I – інформація

Просторове положення КА відносно антенної системи (АС) із часом змінюється, що вимагає розв’язання задачі супроводу КА, тобто відстеження просторового положення КА антеною [6].

Для супроводу КА необхідно розраховувати цілевказівки (ЦВ) антени, для цього потрібно знати початкові умови його руху, які необхідно періодично оновлювати та зберігати.

Джерелами ПУ руху КА можуть бути:

1. Для вітчизняних КА – Національний центр управління та випробування космічних засобів і його елемент – Центр управління польотами космічних апаратів Національного центру управління та випробування космічних засобів.

2. Для закордонних та вітчизняних – каталог NORAD/NASA.

Невідповідність ПУ конкретному КА призведе до зриву супроводження та втрати інформації.

Таким чином, мета роботи досягається розв’язанням таких задач:

1. Розробка математичного та програмного забезпечення розрахунку ЦВ АС засобів прийому інформації з КА ДЗЗ.

2. Розробка бази даних ПУ руху КА для розрахунку ЦВ АС.

3. Розробка бази даних видової інформації з КА ДЗЗ.

4. Визначення складу обчислювальних засобів функціонування програмного комплексу забезпечення прийому та оперативного зберігання видової інформації з КА ДЗЗ.

Аналіз форматів ПУ руху КА показав, що початковими даними для розв’язання задачі розрахунку ЦВ можуть бути два вектори орбітальних елементів [7, 8].

$$\bar{R}_{TLE} = \{i, \Omega, e, \omega, M, n, JD\}, \tag{1}$$

де i – нахилення орбіти;

Ω – інерціальна довгота висхідного вузла орбіти;

e – ексцентриситет орбіти;

ω – аргумент перигею;

M – середня аномалія;

n – середній рух.

$$\bar{R}_{\phi 001} = \{X_G, Y_G, Z_G, V_{xG}, V_{yG}, V_{zG}, t_e\}, \tag{2}$$

де X_G, Y_G, Z_G – координати КА в гринвіцькій системі координат (ГСК);

V_{xG}, V_{yG}, V_{zG} – складові вектора швидкості КА в ГСК;

t_e – час проходження екватору.

Шуканими величинами є положення КА в топоцентричній пунктової сферичній системі координат, тобто вектор

$$\bar{R}_{AC} = \{\alpha_i, \beta_i, D_i, t_i\}, \tag{3}$$

де t_i – i -й момент часу.

За формулами (1) та (2) знаходимо часові характеристики; (4), (5), (6) – елементи орбіти; (7) – перерахунок в прямокутну систему координат; (8) – знаходимо вектор шуканих параметрів:

$$E_{i+1} = M + e \sin(E_i), \quad i = 0,1,2,\dots,10, \quad E_0 = M. \quad (4)$$

$$v = 2 \arctg \left[\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \left(\frac{E}{2} \right) \right], \quad u = \omega + v; \quad (5)$$

$$a = \sqrt[3]{\mu_0 \left(\frac{12 \cdot 3600}{n\pi} \right)^2}, \quad p = a(1 - e^2), \quad r = \frac{p}{1 + e \cdot \cos(v)}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} X_1 &= r(\cos(\Omega)\cos(u) - \sin(\Omega)\sin(u)\cos(i)); \\ Y_1 &= r(\sin(\Omega)\cos(u) + \cos(\Omega)\sin(u)\cos(i)); \\ Z_1 &= r \sin(u)\sin(i). \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} = (r) \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = (\lambda) \begin{pmatrix} X_r - X_H \\ Y_r - Y_H \\ Z_r - Z_H \end{pmatrix};$$

$$D = \sqrt{X_T^2 + Y_T^2 + Z_T^2}, \quad \alpha = \arctg \left(\frac{Y_T}{\sqrt{X_T^2 + Z_T^2}} \right), \quad \beta = \arccos \left(\frac{X_T}{\sqrt{X_T^2 + Z_T^2}} \right). \quad (8)$$

Здійснена їх програмна реалізація розроблених моделей в об'єктно-орієнтованому середовищі «Delphi 6.0».

На основі аналізу особливостей використання початкових умов руху КА для розрахунку ЦВ розроблена база даних (БД) початкових умов руху КА [9].

З рис. 2 видно, що БД початкових умов руху КА має тривірневу ієрархічну структуру. Перший рівень відображає державну належність космічних апаратів, другий рівень розкриває найменування космічних апаратів, з якими проводиться робота, третій – містить ПУ руху КА, які розподілені за часом.

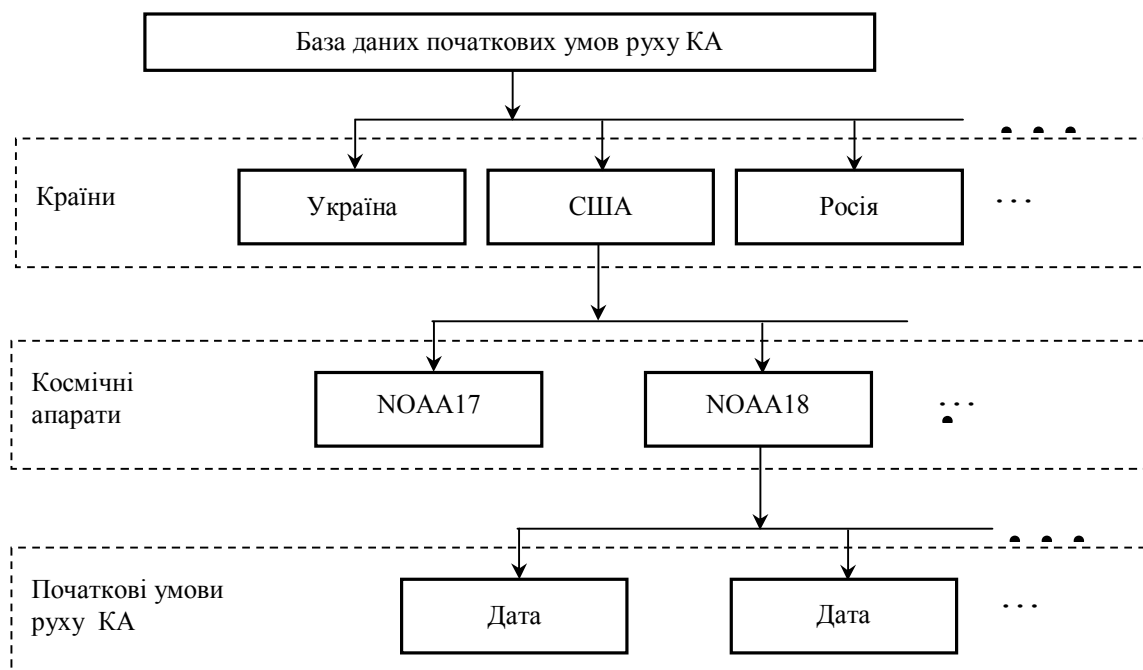


Рис. 2. Логічна структура бази даних початкових умов руху космічних апаратів

Деякі вікна інтерфейса програми наведені на рис. 3–5.

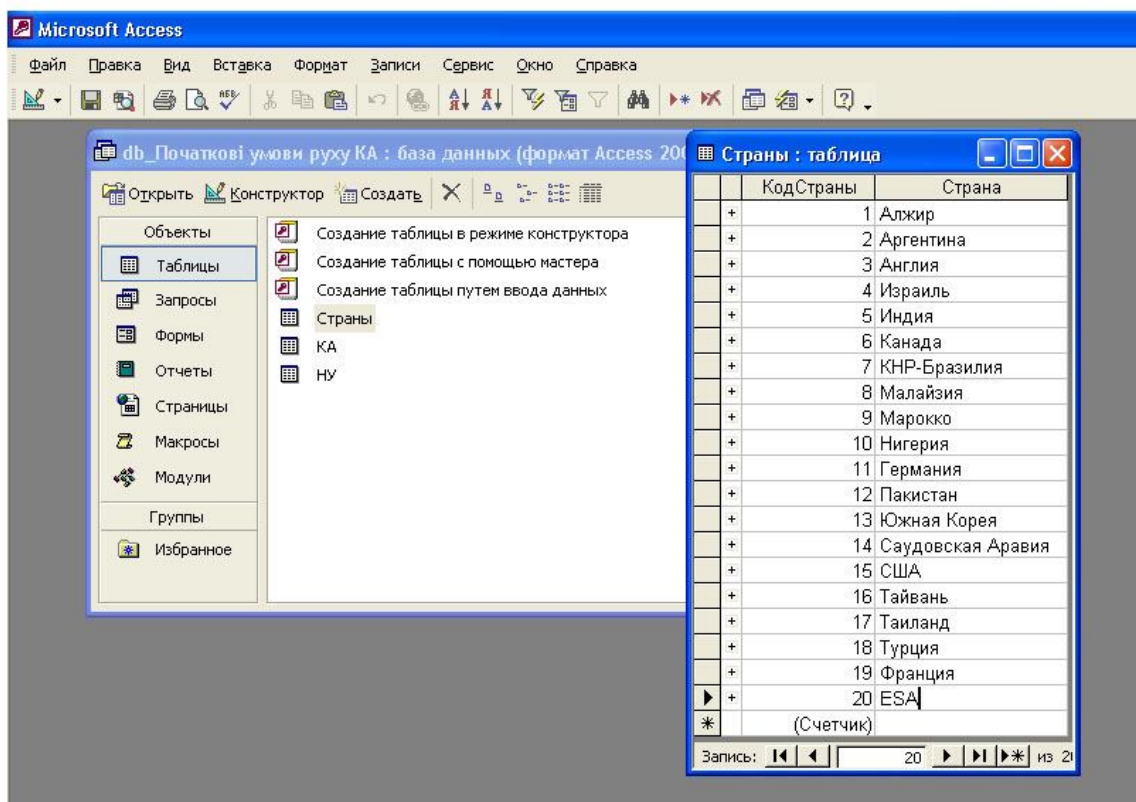


Рис. 3. Перший ієрархічний рівень бази даних початкових умов руху космічних апаратів

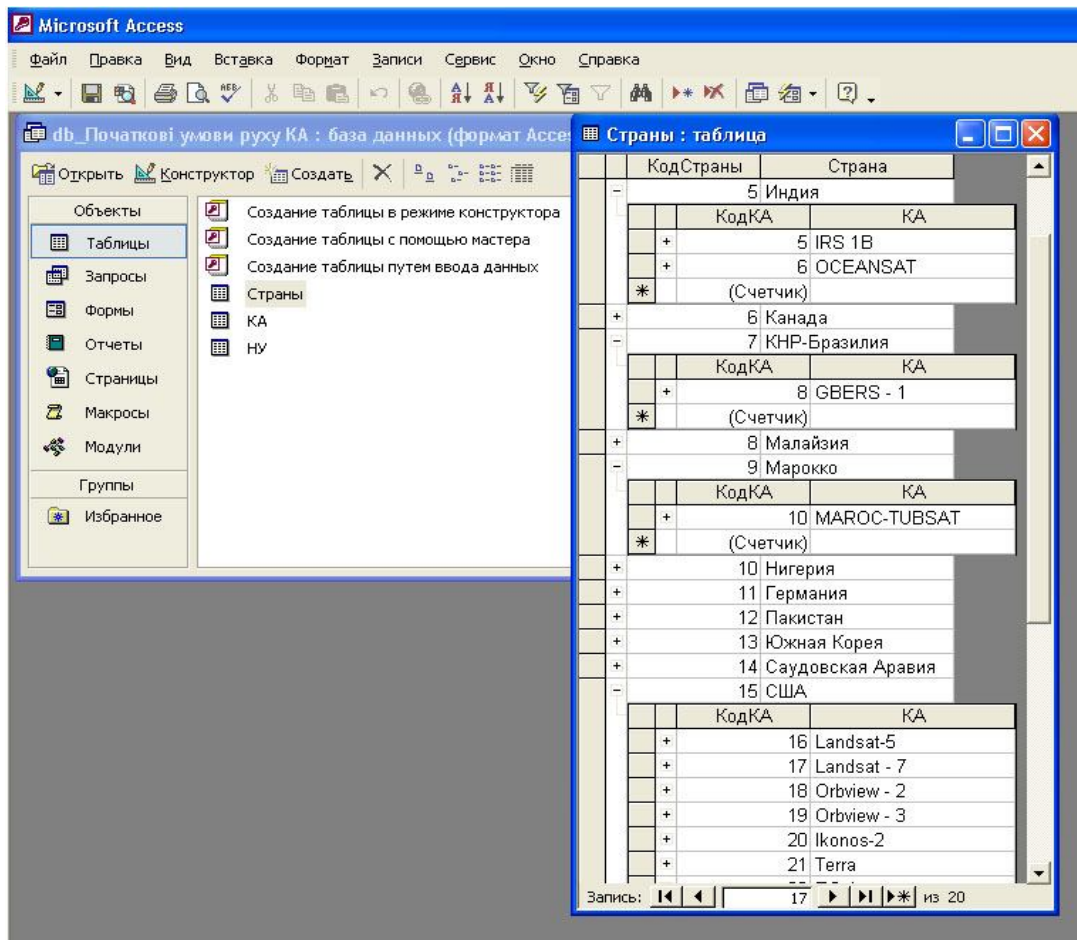


Рис. 4. Другий ієрархічний рівень бази даних початкових умов руху космічних апаратів

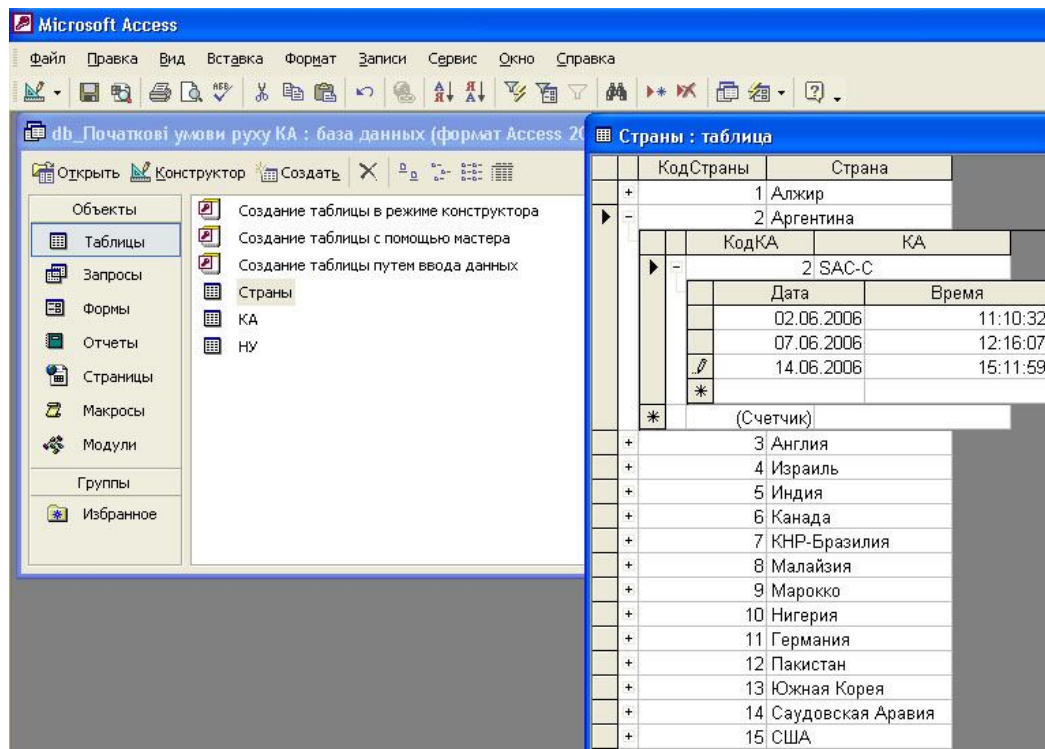
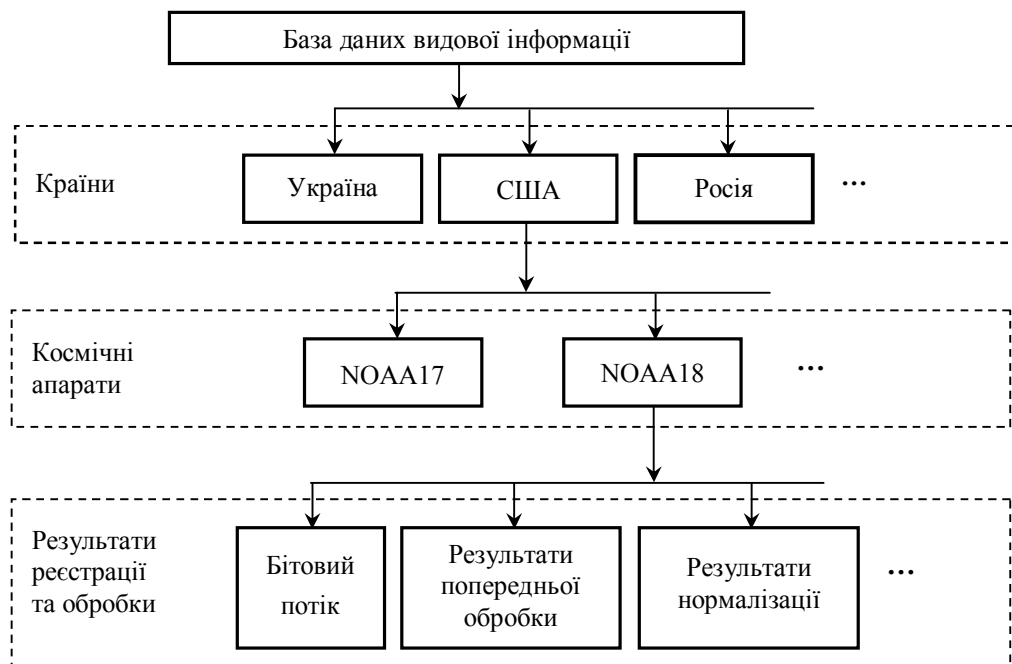


Рис. 5. Третій ієрархічний рівень бази даних початкових умов руху космічних апаратів

Здійснена розробка БД в середовищі Microsoft Access 2003.

В цьому ж середовищі здійснена розробка БД видової інформації, яка є третім рівнем, а також має тривірневу ієрархію (рис. 6).



Перших два рівня відповідають БД *ДІУ*. *Розділ 4* *Структура бази даних видової інформації* попередньої обробки та нормалізації видової інформації, крім того, в БД реалізована можливість візуального контролю (рис. 7–8).

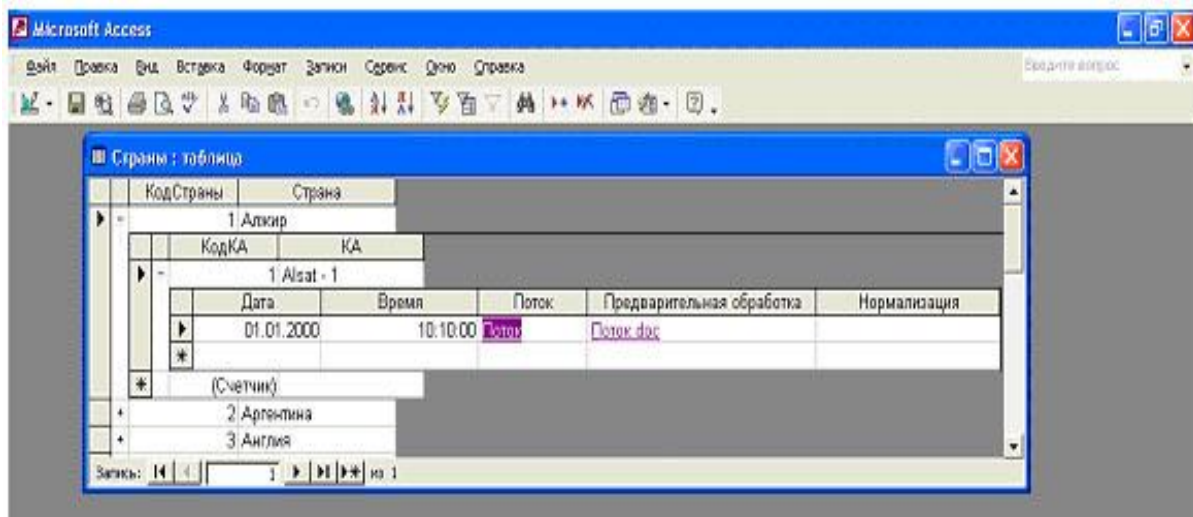


Рис. 7. Третій ієрархичний рівень бази даних видової інформації

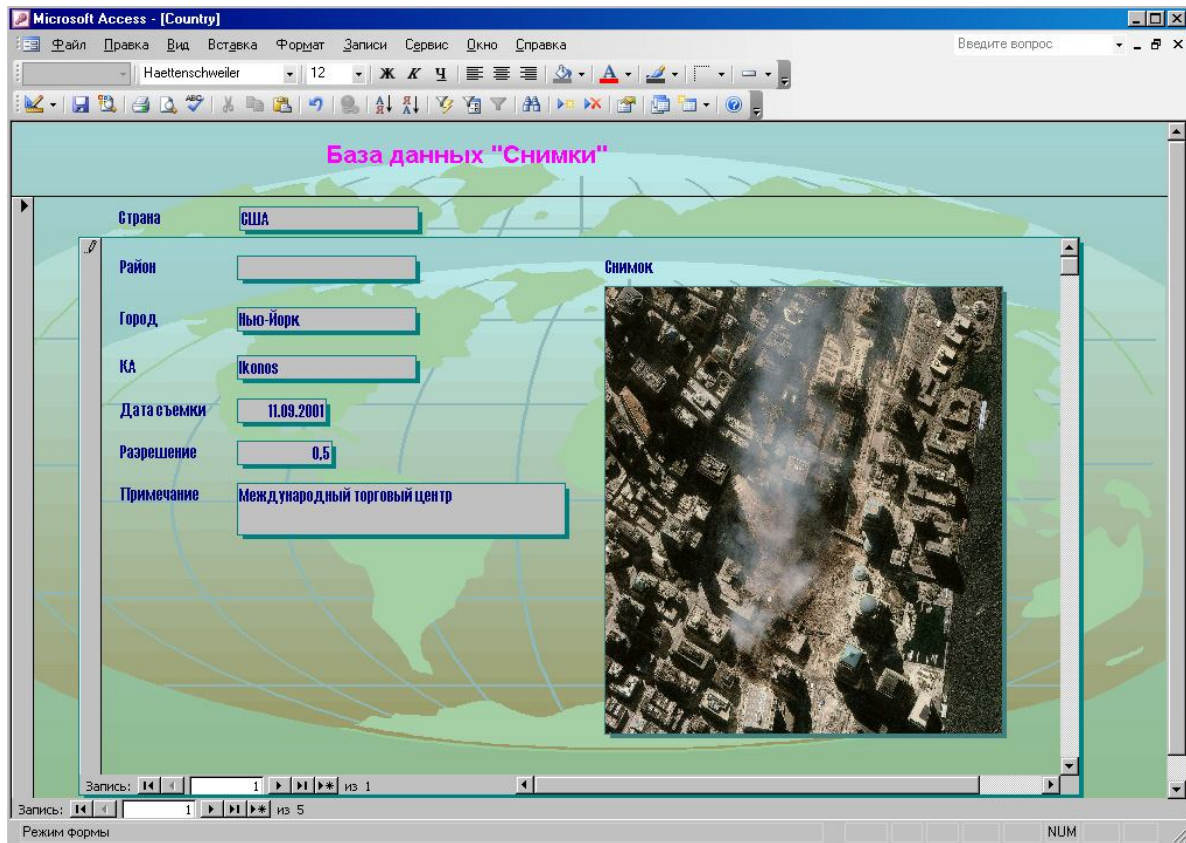
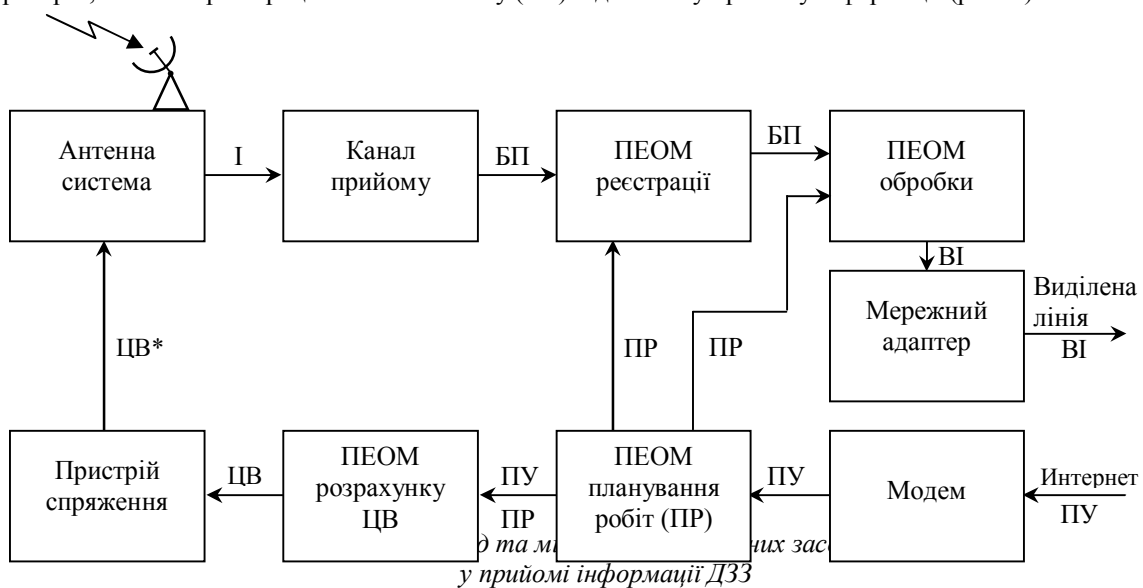


Рис. 8. Вікно візуального контролю результатів первинної обробки видової інформації

В складі обчислювальних засобів функціонування програмного комплексу забезпечення прийому та оперативного зберігання видової інформації з КА ДЗЗ повинні бути чотири персональні електронно-обчислювальні машини (ПЕОМ), які мають мережевий зв'язок. При цьому ПЕОМ планування робіт повинна мати модемний вихід в Інтернет, ПЕОМ обробки, оперативного зберігання та видачі видової інформації в спеціалізовану систему передачі даних через мережевий адаптер для виділених ліній. ПЕОМ розрахунку ЦВ АС підключена до керуючих органів системи управління (СУ) антеною через пристрій, а ПЕОМ реєстрації бітового потоку (БП) – до каналу прийому інформації (рис. 9).



Здійснено перевірку працездатності розробленого програмно-апаратного комплексу шляхом проведення натурного експерименту.

Завдання експерименту:

1. Перевірити працездатність програмного забезпечення розрахунку ЦВ АС засобів прийому інформації.
2. Перевірити працездатність бази даних ПУ руху КА.
3. Оцінити періодичність оновлення початкових умов руху КА в БД ПУ руху КА.
4. Перевірити працездатність бази даних видової інформації з КА ДЗЗ.
5. Оцінити правильність визначення характеристик обчислювальних засобів функціонування програмного забезпечення прийому та оперативного зберігання видової інформації.

Вирішення завдань експерименту здійснювалося за таких умов:

1. Для прийому видової інформації з КА ДЗЗ використовувався канал на частоті $f = 137$ МГц. Структурну схему каналу представлено на рис. 10.
2. Прийом інформації проводився з КА ДЗЗ NOAA 17 і NOAA 18.
3. Надана можливість використання лабораторно-демонстраційної установки «Силовий слідкуючий привод з цифровою обробкою сигналу помилки» (ССП ЦОСП). Структурна схема установки ССП ЦОСП представлена на рис. 11.
4. Для всіх видів обробки прийнятої інформації використовуються загальнодоступні програми.

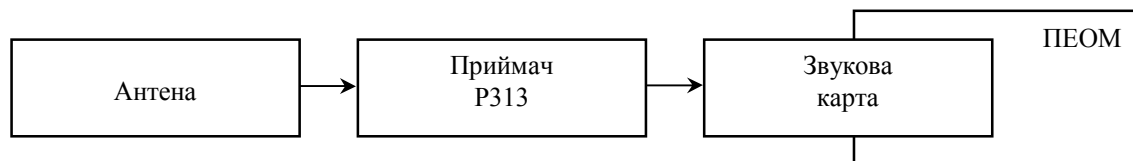


Рис. 10. Структурна схема каналу прийому інформації на частоті $f = 137$ МГц

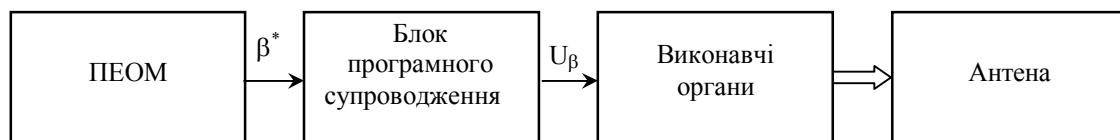


Рис. 11. Структурна схема установки «Силовий слідкуючий привод з цифровою обробкою сигналу помилки»: β^* – азимут; U_β – управляючий сигнал на виконуючі елементи системи по азимуту

Особливістю даного каналу є відсутність опорно-поворотного механізму та СУ антенною, прийом інформації низького розрізнення (2,5 км в елементі розрізнення), що відповідає мінімальним інформаційним потокам.

В результаті експерименту була прийнята видова інформація (рис. 12).

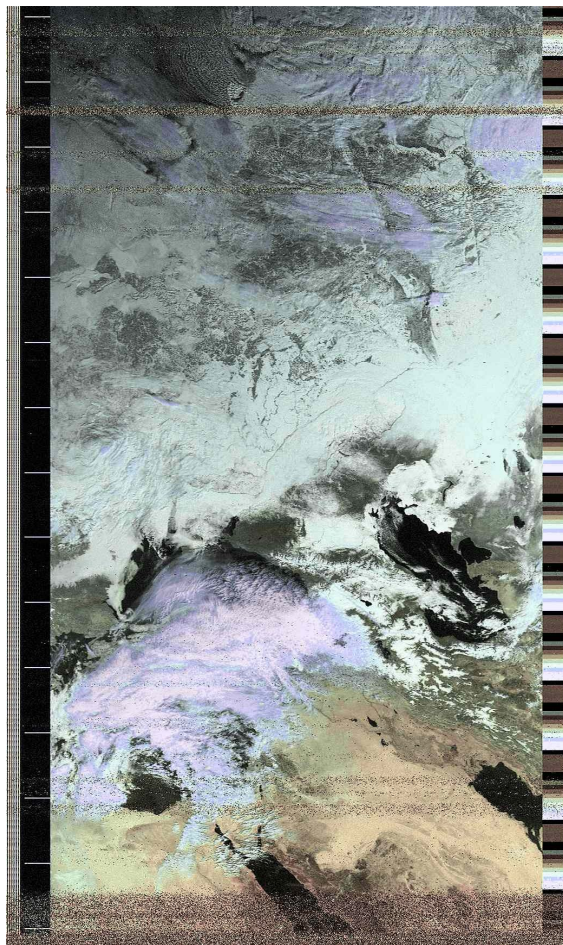


Рис. 12. Зображення, отримане з космічного апарата NOAA 17

Була виявлена періодичність оновлення ПУ руху КА. Для каналів прийому на частотах 137 МГц – не рідше 12 діб, для 1,7 ГГц – не рідше 5 діб. Для 8,2 ГГц – кожену добу.

Це зв'язано з шириною діаграми направленості антени даних каналів. З підвищенням частоти ширина діаграми направленості зменшується, відповідно зростають вимоги до точності супроводження.

Натурний експеримент показав правильність прийнятих в роботі технічних рішень.

Висновки. Технологія прийому різних видів інформації з КА вимагає наявності ПУ руху цих апаратів, здійснення прогнозування їх параметрів руху, визначення умов радіовидимості КА з наземних засобів прийому інформації, розрахунку ЦВ антенним системам для автоматичного супроводження КА, оперативної реєстрації інформації, яка приймається, і за необхідності – проведення обробки прийнятої інформації.

Наявність декількох ПУ по кожному КА, можливо, наявність значної кількості КА, з яких здійснюється прийом інформації, а також їх різна державна належність потребують упорядкованого процесу реєстрації та зберігання ПУ руху, що, в свою чергу, вимагає розробки відповідного програмного забезпечення, яке повинно бути розроблено як БД ПУ.

Накопичення за обмежений проміжок часу в наземному пункті прийому інформації великої кількості файлів з обробленою та необробленою інформацією ДЗЗ, яка прийнята від різних КА і в різні часові інтервали, а також вимоги щодо надійності збереження та гарантованості передачі інформації для наступної обробки, вимагає розробки програмного забезпечення упорядкованого збереження видової інформації на наземному пункті прийому інформації, при цьому програмне забезпечення повинно бути розроблено як БД.

Розроблена БД ПУ руху КА, яка дозволяє забезпечити упорядковане зберігання ПУ та зменшити ймовірність помилки при підготовці і проведенні сеансів зв'язку з КА і як наслідок зменшити ймовірність втрати унікальної інформації ДЗЗ. Відповідно до призначення та особливостей використання інформації БД ПУ руху КА має трирівневу ієрархічну структуру, при цьому перший рівень відображатиме державну приналежність КА, другий рівень розкриватиме найменування КА, з якими проводиться робота і третій рівень міститиме ПУ руху КА, які розподілені за часом.

Розроблена БД видової інформації ДЗЗ, яка дозволяє забезпечити упорядковане зберігання результатів реєстрації та обробки інформації. Відповідно до призначення та особливостей обробки видової інформації, БД має тривірневу ієрархічну структуру, при цьому перших два рівні аналогічні рівням БД ПУ руху КА, а третій рівень міститиме результати реєстрації та обробки інформації за видами.

У складі обчислювальних засобів функціонування програмного комплексу забезпечення прийому та оперативного зберігання видової інформації з КА ДЗЗ повинно бути чотири ПЕОМ, які мають мережевий зв'язок. При цьому ПЕОМ планування робіт повинна мати модемний вихід в Internet, ПЕОМ обробки, оперативного збереження та видачі видової інформації – в спеціалізовану систему передачі даних через мережевий адаптер для виділених ліній, ПЕОМ розрахунку ЦВ АС підключена до виконавчих органів СУ антеною через пристрій спряження, а ПЕОМ реєстрації бітового потоку – до каналу прийому інформації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Українська програма спостереження Землі із космосу. – К: НКАУ, 2005. – 94 с.
2. *Волошин В.И., Шапарь А.Г., Переметчик Н.Н.* Исследование опасных экзогенных процессов на территории города Днепропетровска с использованием спутниковых снимков // Космічна наука і технологія. – 2005. – Т. 11. – № 5/6. – С. 51–55.
3. *Богом'я В.І., Загорулько О.М., Малевинський С. В., Мироненко В.М.* Концепція створення регіональної системи прийому, одержання й обробки інформації ДЗЗ // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т. 8. – № 1. – С. 80–84.
4. ДСТУ 4220-2003 Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять.; Введ.15.07.03. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 20 с.
5. <http://www.sat-net.com/winorbit/index.html>
6. <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/>
7. *Самотокін Б.Б.* Лекції з автоматичного керування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 501 с.
8. *Іванов Н.М.* Баллистика и навигация космических аппаратов: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2004. – 544 с.
9. *Бровко М.В., Смельянова И.А., Хорольский П.Г.* Оценка ошибок прогноза орбит космических объектов по данным Internet // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 40-річчю польоту людини в космос. – 4–6 вересня 2001 р. – Житомир: ЖДТУ, 2001. – С. 116.
10. *Гайдамакин Н. А.* Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс: Учебное пособие. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 368 с.

ГНІЛІЦЬКИЙ Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів;

– інформаційні системи.

Тел.: 8(0412)37-84-82.

E-mail: gnil@ztu.edu.ua

ВАРЛАМОВА Ірина Ігорівна – магістрант кафедри автоматизованого управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– системи автоматизованого управління.

Тел.: 8(0412)47-06-57.

E-mail: irishavarl@rambler.ru

Подано 02.02.2009

Гнілицький В.В., Варламова І.І. Програмний комплекс забезпечення прийому та зберігання даних з космічних апаратів дистанційного зондування землі

Гнилицкий В.В., Варламова И.И. Программный комплекс обеспечения приема и хранения данных с космических аппаратов дистанционного зондирования земли

Gnilitsky V.V., Varlamova I.I. Software complex of providing reception and storage of data from the spacecrafts of the remote sounding of the Earth

УДК 355.404.4

Программный комплекс обеспечения приема и хранения данных с космических аппаратов дистанционного зондирования земли/ В.В. Гнилицкий, И.И. Варламова

Освещаются задачи программно-алгоритмического обеспечения приема, регистрации и оперативного хранения принятого потока данных и результатов их обработки на разных этапах. Раскрывается математическая модель расчета целеуказаний и их адаптации для системы автоматического сопровождения космического аппарата, которая учитывает особенности избранной входной информации и исходных параметров, которые требуются. Обосновывается выбор модели организации базы данных как для начальных условий движения космического аппарата, так и хранения целевой информации. Определяются условия, при которых разработанный программный комплекс может выступить альтернативой соответствующим глубоко специализированным и дорогостоящим программным комплексам.

УДК 355.404.4

Software complex of providing reception and storage of data from the spacecrafts of the remote sounding of the Earth/ V. V. Gnilitsky, I.I. Varlamova

Work is lighted up tasks of software- algorithmic ensuring of reception, registration and operative storage of the accepted flow of data and results of their treatment, on the different stages. Mathematical models of the calculation target designation and their adaptation for systems of the automatic accompaniment device spacecraft are opened up, which takes into account the features of select entrance information and initial parameters, which is required. The choice of models of organization of data bases is substantiated both for the initial conditions of motion of spacecraft and storage of having a special purpose information. Terms are determined when developed a software complex come forward an alternative the proper deeply specialized and valuable software complex.