

## ПОБУДОВА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ АПАРАТУРИ КОСМІЧНОГО АПАРАТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

(Представлено д.т.н., проф. Маноїловим В.П.)

У статті розглянута задача побудови адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури космічного апарата дистанційного зондування Землі. Запропонований підхід дозволяє реалізовувати нову інформаційну технологію обґрунтування варіанта оперативного плану роботи апаратури космічного апарата щодо виконання заявок споживачів інформації дистанційного зондування Землі. Представлені розроблені структурно-функціональні особливості адаптивної системи оперативного планування.

### Постановка проблеми у загальному вигляді

Отримання інформації про підстилаючу поверхню Землі забезпечується космічною системою (КС) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Створення національних КС ДЗЗ передбачено в положеннях Загальнодержавної (Національної) космічної програми України на 2003-2007 рр. (космічні системи ДЗЗ “Січ-1м”, “Січ-2”, “Січ-3”) [1]. Складовим елементом КС ДЗЗ є космічний апарат (КА) з комплексом бортової спеціальної та забезпечувальної апаратури. Для задоволення заявок споживачів інформації ДЗЗ з врахуванням ефективного використання наявних ресурсів та функціональних можливостей КА ДЗЗ проводиться планування застосування КА за сукупністю замовлень. Відповідно до технології управління космічних систем розрізняють такі етапи планування: перспективне; довгострокове; оперативне.

Розглянемо етап оперативного планування, який передбачає планування роботи апаратури КА ДЗЗ (застосування КА за цільовим призначенням).

Питання розв'язання задачі оперативного планування роботи апаратури КА ДЗЗ розглядалися в літературі [2], [3], але в ній не враховані такі аспекти:

- можливість отримання інформації про райони спостереження (РС), завдяки переорієнтації КА відносно центра мас (розвороти за кутом крену), переміщення центра мас КА;
- не в повній мірі враховується вплив негативних факторів на виконання поставленої задачі (зміни метеорологічної обстановки, відмови апаратури), в результаті чого неадекватно оцінюється можливість КС ДЗЗ за спостереженням заданих РС, нерационально використовуються ресурси апаратури КА;
- відсутні алгоритми управління роботою апаратури КА у позаштатних ситуаціях.

Ці недоліки значно зменшують показники ефективності використання КС ДЗЗ за цільовим призначенням. Тому актуальною задачею є синтез адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури КА ДЗЗ.

**Мету статті** викладемо таким чином: “Побудова адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури КА ДЗЗ, яка дозволить найбільш ефективно використовувати наявні ресурси та функціональні можливості як КС ДЗЗ, так і КА ДЗЗ”.

**Викладення розв'язку.** Для синтезу адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури КА застосовуємо метод структурного моделювання [4], [5] з використанням єдиної інформаційної моделі (ЄІМ). Структурне моделювання дозволяє виявити й оцінити вплив будь-яких параметрів внутрішніх елементів на характеристики підсистем і показники якості КС ДЗЗ в цілому. Переваги структурного моделювання є наслідком явної цільової структуризації всіх істотних системних відносин, що забезпечують подібність, адекватність, точність досліджуваних властивостей моделі та реального об'єкта. У моделях при цьому зберігається задана структура досліджуваного об'єкта.

### Оперативна інформація

Оперативна інформація – це інформація, що дає уявлення про фактичний стан КС ДЗЗ на даний момент часу. За оперативною інформацією формується конкретна ситуація, яка відбиває наявні ресурси КА, наземного комплексу управління, завадову та метеорологічну обстановку в РС.

Склад модуля оперативної інформації представлений на рис. 1.



Рис. 1

**Довідково-інформаційний фонд**

Єдиний довідково-інформаційний фонд (ДІФ) банку даних системи зберігає інформацію про всі елементи КС ДЗЗ. В таблицях ДІФ за іменем елемента КС можливо знайти відповідні індивідуальні характеристики. Оперативна видача довідок та порад людині-оператору (особі, що приймає рішення (ОПР)) визначає потрібний стан КС, що прискорює процес прийняття рішення. Стандартний пошук довідкових даних спрощує складні алгоритми розпізнавання ситуацій, аналізу вхідного завдання та планування інформаційно-обчислювальних робіт, контролю завдань та потоку вхідних даних, синтезу адекватних моделей із елементарних ЄІМ, комплексного перетворення інформації.

Всі види довідкових даних утворюють ДІФ КС ДЗЗ. Головна функція ДІФ полягає в ототожнювальному відображенні ЄІМ, включаючи передісторію, поточний та цільовий стани. Тому відповіді на питання в узагальненій формі формуються за даними із ДІФ, а для пов'язаних з конкретними кількісними параметрами ДІФ вказує місцезнаходження потрібних даних. Не дивлячись на множинність відображення та структурування моделей на різних рівнях, вихідний фізичний об'єкт знаходиться у відомих відношеннях подоби, які встановлюються згідно з цілями розв'язання задач. Ця функція здійснюється через ДІФ, завдяки опису предметної області знань про КС ДЗЗ у вигляді узагальненої математичної моделі.

Склад модуля ДІФ представлений на рис. 2.

**Єдина інформаційна модель**

Для комплексу задач процесу спостереження ЄІМ – ієрархічна тематично структурована база знань (БЗ) (рис. 3), яка включає до себе знання про КС ДЗЗ, моделі, які описують елементи та бортову апаратуру КА ДЗЗ, їх взаємозв'язок, динаміку поведінки. Завдяки чому можливо проводити як перспективний, так і ретроспективний аналізи.

ЄІМ призначена для інформаційного обслуговування всіх підготовчих і виконавчих етапів комплексного моделювання процесу спостереження. Формування та експлуатація ЄІМ пов'язана з переробкою та обслуговуванням великих об'ємів інформації. У цьому випадку ЄІМ – базовий ресурс для конструювання робочої моделі в конкретній ситуації.

Представлена на рис. 3 системна модель БЗ призначена для запитально-відповідального режиму оперативного планування бортового спеціального комплексу КА. На запит видаються концептуальні та розрахункові моделі, повідомлення з лінгвістичними змінними та оперативними даними.

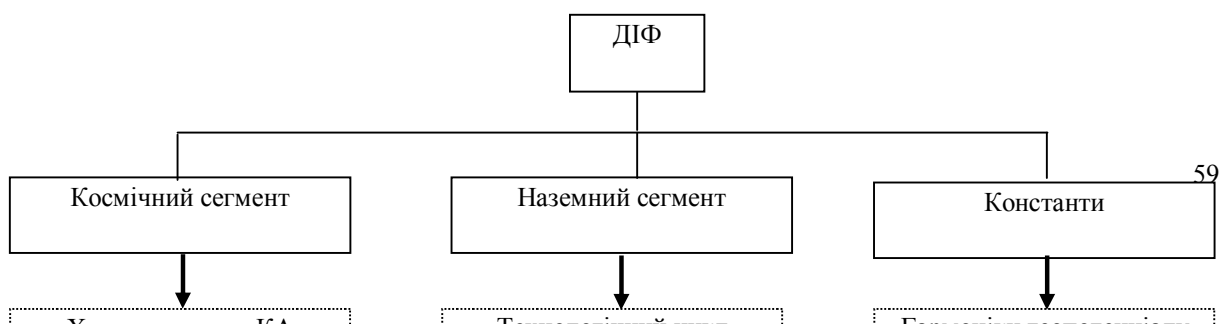


Рис. 2

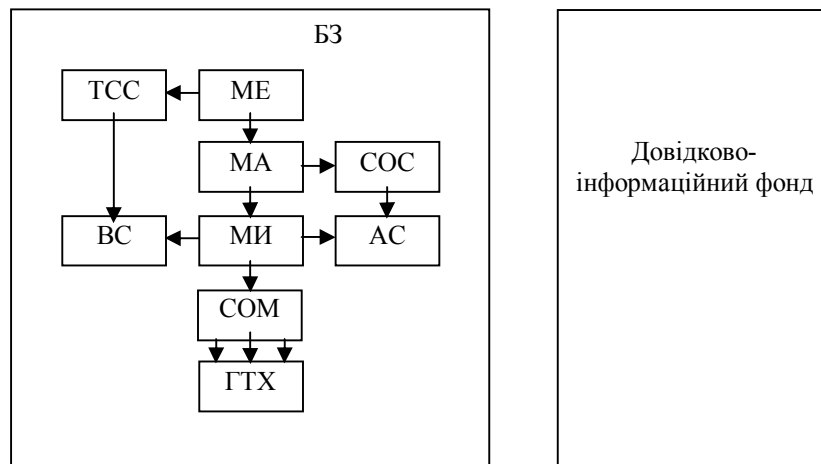


Рис. 3

Логічна схема БЗ інваріантна до будь-яких інформаційних перетворень, це пояснюється єдиною системною структуризацією на рівні концептуальних понять, формально-логічних відношень та узагальнених категорій.

Семантичні об'єкти представлені в БЗ записами п'яти типів [4]:

ME – поняття метаоб'єкта, інформація відібрана згідно з темою (система цілей):  $ME_i \in ME, \forall i \in I$  ;

MA – поняття макрооб'єкта в ролі концептуального образу в рамках даної теми предметної області знання:  $MA_j \in MA_j \subset ME_i, \forall j \in J$  ;

MI – поняття мікрооб'єкта як елемента концептуального образу:  $MU_k \in MU_k \subset MA_j, \forall k \in K$  ;

TCC – поняття тематичного системного зв'язку як зовнішнього суттєвого відношення  $R_h$  між частинами ME системи:  $R_h(ME_i, MU_k) \in ME_i, \forall h \in H$  ;

COC – поняття ситуаційного об'єктивного зв'язку як елементарного внутрішнього відношення  $R_m$  між загальним та частинним поняттями MI, MA:  $R_m(MA_j, MU_k) \in MA_j, \forall m \in M$  .

Концептуальні взаємозв'язки в рамках тематичної семантичної взаємопов'язаної мережі деталізуються записами типу:

BC – атрибут тематичного системного зв'язку, який уточнює зміст відношення між  $ME_i$  та  $MI_k$  поняттями;

AC – атрибут ситуаційного об'єктивного зв'язку, який уточнює обставини внутрішніх відносин;

SOM – семантична одиниця мислення, яка виражає зміст  $MI_k$  поняття через синтаксичну структуру атрибутів;

GTX – групова таблична характеристика, яка визначає конкретні значення  $MI_k$  атрибутів згідно із структурою SOM.

Технологія оперативного планування роботи КА із застосуванням ЄІМ забезпечує задоволення заявок споживачів інформації ДЗЗ, використовуючи накопичений досвід експлуатації, який відбивається в ЄІМ у вигляді моделей функціонування. Крім того, задоволення оперативних заявок та врахування обмежень різного роду, які ситуативно виникають, в тому числі і у зв'язку з позаштатними ситуаціями, спрощується. Тоді ЄІМ вміщує типові лінгвістичні моделі (рис. 4), які зручні для ОПР. За допомогою обробки даних, що знаходяться в ЄІМ, прийняття рішення здійснюється з використанням підсистеми управління обробкою даних на базі адаптивного лінгвістичного інтерфейсу [6].

Відомо [7], [8], що більше 70 % інформації про стан і поведінку системи закладено в минулих реальних даних і тільки близько 30 % інформації про систему складає нова оперативна інформація. Ця оперативна інформація дає уявлення про фактичний стан системи на даний момент часу, тобто формується конкретна ситуація, яка відбиває наявні ресурси КА, наземного комплексу управління, завадову і метеорологічну обстановку в РС.

Конкретику ситуації доповнюють заявки споживачів інформації ДЗЗ на проведення зйомки необхідних їм районів земної поверхні з зазначенням координат, типом задіяної для спостереження апаратури КА, періодичністю та тривалістю зйомки РС.

ОПР завдяки адаптивному лінгвістичному інтерфейсу швидко організує варіантно-ситуативний аналіз, що забезпечує прийняття оптимальних рішень. Запропонована схема формування інформації для прийняття рішення використовує функції реалізації інтерфейсу директивно-командного управління для побудови ланцюга цілеспрямованих трансформаційних перетворень значної кількості знань у майбутні раціональні варіанти планування за допомогою зовнішнього пакета чисельного аналізу – у даному випадку MATLAB [9].

#### **Підсистема обробки даних на базі адаптивного лінгвістичного інтерфейсу**

Підсистема обробки даних на базі адаптивного лінгвістичного інтерфейсу (ПОДБАЛІ) „PreLing” – багаторівнева підсистема.

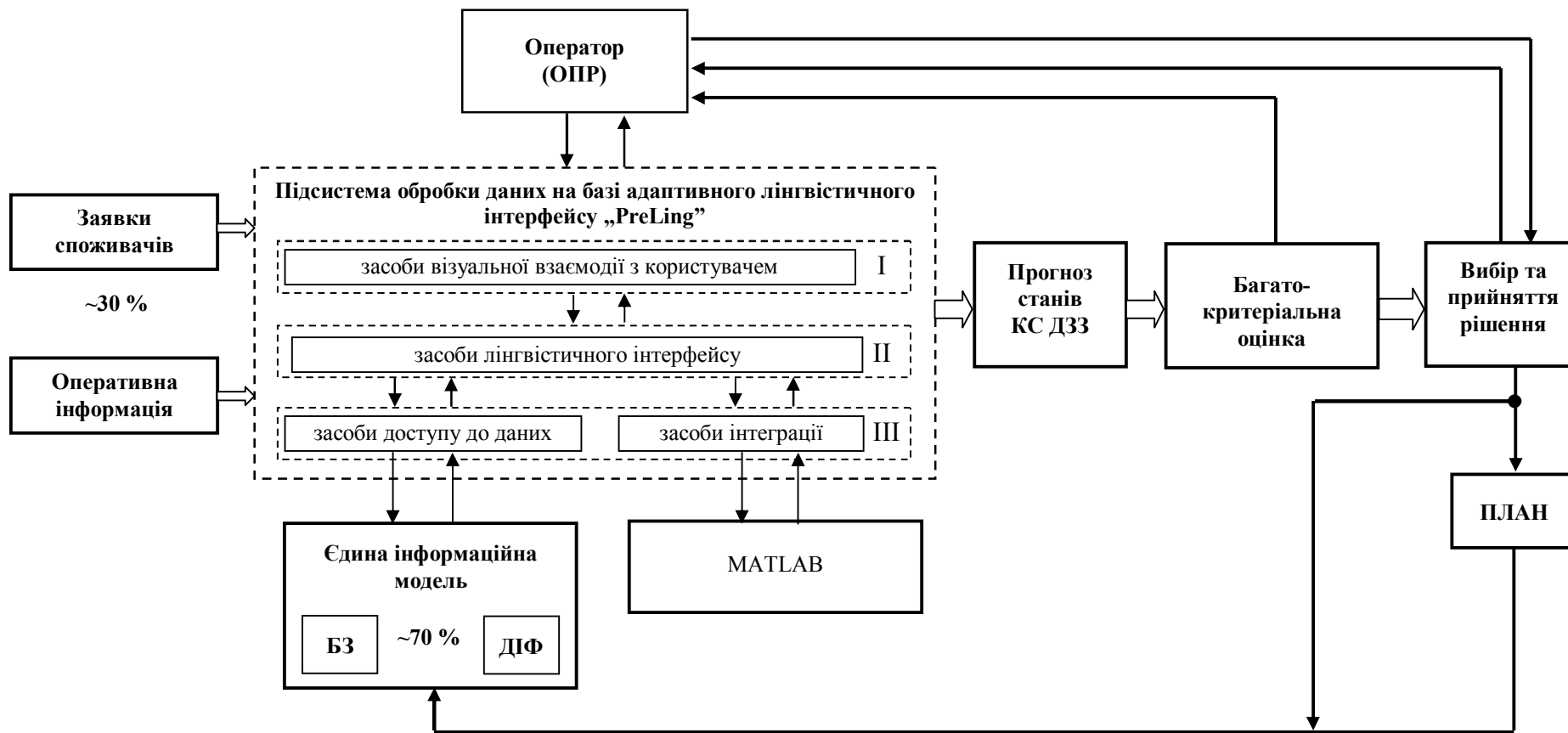


Рис. 4. Адаптивна система оперативного планування роботи апаратури КА ДЗЗ із застосуванням єдиної інформаційної моделі

Перший рівень (засоби візуальної взаємодії з користувачем) є проміжним рівнем для організації взаємодії між ОПР та лінгвістичним інтерфейсом. На даному рівні засобами розробки графічного інтерфейсу реалізуються модулі, що відповідають за створення та модифікацію опису задач оперативного планування роботи апаратури КА природною мовою.

Другий рівень (засоби лінгвістичного інтерфейсу) реалізує певну підмножину природної мови (професійний жаргон) для керування накопиченими знаннями і даними та для перетворення їх у раціональний варіант застосування КС ДЗЗ за допомогою зовнішнього пакета чисельного аналізу. Запропонований підхід дозволяє реалізувати довільні математичні алгоритми обґрунтування варіантів оперативного планування роботи КА.

Реалізований у підсистемі управління обробкою даних адаптивний лінгвістичний інтерфейс має стійкість до синтаксичних і лексичних помилок користувача. Це включає в себе розпізнавання зарезервованих директивних слів за неповними основами та підтримку декількох синтаксично відмінних конструкцій одночасно для однієї (за змістом) командної фрази. Це дозволяє зняти жорсткі обмеження на правопис ключових слів і наближає рівень інтерфейсу до природного спілкування на професійному жаргоні. Словник, який використовується на даний час, включає близько 100 основ, що можуть бути скомбіновані в більш ніж 300 конструкцій, які дозволяють реалізувати формування майбутніх варіантів – раціональних варіантів застосування КС ДЗЗ.

Третій рівень (засоби доступу до даних, які необхідні для фізичного створення, збереження, модифікації, видалення даних та засоби інтеграції із зовнішнім пакетом чисельного аналізу) реалізує системні сервіси та засоби взаємодії з іншими програмними системами.

### Багатокритеріальна оцінка

На практиці варіантів оперативного плану роботи КА може бути декілька, тому необхідно вирішувати задачу оптимізації. Модуль багатокритеріальної оцінки дозволяє на основі визначених критеріїв формувати оптимальний оперативний план роботи КА. Для знаходження оптимального оперативного плану роботи КА використовується метод скалярної згортки за нелінійною схемою компромісів [10], [11].

### Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Побудована адаптивна система оперативного планування роботи апаратури КА із застосуванням ЄІМ дозволяє найбільш ефективно використовувати наявні ресурси та функціональні можливості КС ДЗЗ.

2. Запропонований підхід дозволяє реалізовувати нову інформаційну технологію обґрунтування варіанта оперативного плану роботи апаратури КА ДЗЗ щодо виконання заявок споживачів інформації ДЗЗ.

3. Подальші дослідження у напрямку, розглянутому в статті, стосуються розв'язку задачі знаходження оптимального оперативного плану роботи апаратури КА ДЗЗ. Для цього доцільно використати метод скалярної згортки за нелінійною схемою компромісів.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Національна космічна програма України 2003–2007 рр. Цільова космічна програма: Космічна діяльність в інтересах національної безпеки і оборони. – К.: НКАУ, 2001. – (№ 148/2, Н№ 2213419113).
2. *Лебедев А.А., Нестеренко О.П.* Космические системы наблюдения: синтез и моделирование. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.
3. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с.
4. *Баранов Г.Л., Макаров А.В.* Структурное моделирование сложных динамических систем. – Киев: Наукова думка, 1986. – 272 с.
5. *Мельников Г.П.* Системология и языковые аспекты кибернетики. – М.: Сов. радио, 1978. – 342 с.
6. *Левчицкий В.Г.* Розробка лінгвістичного забезпечення спеціалізованого програмного забезпечення спеціалізованої програмної системи чисельного аналізу // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03. Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. – Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. – Київ, 2001.
7. *Цвиркун А.Д.* Структурная сложность систем. – М.: Сов. радио, 1985. – 200 с.

8. Дюк В.А. Data Mining – интеллектуальный анализ данных. <http://inftech.webservis.ru/it/database/datamining/ar2.html>.
9. Потёмкин В.Г. Система MATLAB: Справочное пособие. – М: ДИАЛОГ-МИФИ, 1998. – 350 с.
10. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем. – К.: Наукова думка, 1992. – 160 с.
11. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Харченко А.В., Остапьевский В.В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / Монография. – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.

САВЧУК Андрій Володимирович – ад'юнкт Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– ефективність функціонування космічних систем.

Подано 07.04.2004

**Савчук А.В.** Побудова адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури космічного апарата дистанційного зондування Землі з застосуванням єдиної інформаційної моделі.

**Савчук А.В.** Построения адаптивной системы оперативного планирования работы аппаратуры космического аппарата дистанционного зондирования Земли с применением единой информационной модели.

**Savchuk A.V.** Constructions of an adaptive system of an operational planning of instrumentation activity of the Earth remote sounding a space vehicle with application of a unified information model.

УДК 629.7.014:338.984

**Побудова адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури космічного апарата дистанційного зондування Землі з застосуванням єдиної інформаційної моделі / А.В. Савчук**

У статті розглянута задача побудови адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури космічного апарата дистанційного зондування Землі. Запропонований підхід дозволяє реалізувати нову інформаційну технологію обґрунтування варіанту оперативного плану роботи апаратури космічного апарата, щодо виконання заявок споживачів інформації дистанційного зондування Землі. Представлені розроблені структурно-функціональні особливості адаптивної системи оперативного планування.

УДК 629.7.014:338.984

**Построения адаптивной системы оперативного планирования работы аппаратуры космического аппарата дистанционного зондирования Земли с применением единой информационной модели / А.В. Савчук**

В статье рассмотрена задача построения адаптивной системы оперативного планирования работы аппаратуры космического аппарата дистанционного зондирования Земли. Предложенный подход позволяет реализовывать новую информационную технологию обоснования варианта оперативного плана работы аппаратуры космического аппарата по исполнению заявок потребителей информации дистанционного зондирования Земли. Представлены разработанные структурно-функциональные особенности адаптивной системы оперативного планирования.

УДК 629.7.014:338.984

**Constructions of an adaptive system of an operational planning of instrumentation activity of the Earth remote sounding a space vehicle with application of a unified information model / A.V. Savchuk**

The article considers the task of construction of an adaptive system of an operational planning of instrumentation activity of the Earth remote sounding a space vehicle. The offered approach allows to realize new information technology of the substantiation version an operating plan a space vehicle instrumentation activity on execution of consumers applications of the information of the Earth remote sounding. In this article structurally functional features of an adaptive system of an operational planning are presented.