

ДО ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ КОСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗЕМЛІ ПІД ЧАС ВИРІШЕННЯ ОПЕРАТИВНИХ ЗАВДАНЬ

У статті, на відміну від традиційних підходів до завдань управління космічними системами, коли здебільшого досліджуються питання управління технічними (орбітальними та наземними) засобами (функціональний підхід), сформульовано проблеми управління процесом космічних спостережень (процесний підхід) і показані основні напрямки їх вирішення. Обґрунтовано, що процесний підхід є актуальним для вирішення оперативних завдань, які необхідно виконувати терміново або за обмежений час у будь-який час року та доби в інтересах оборони, безпеки, попередження техногенних катастроф, кризових та надзвичайних ситуацій. В роботі у формалізованому вигляді наведено процес отримання цільової інформації в космічних системах спостереження та обґрунтована необхідність управління цим процесом. На основі короткого аналізу структури і можливостей типової космічної системи та декомпозиції процесу її функціонування (цільового застосування) синтезовано графічні моделі процесу отримання цільової інформації.

Ключові слова: космічні спостереження; технологія управління; цільова інформація.

Постановка проблеми. Загальновідомо, що одним із пріоритетів провідних держав світу на сучасному етапі є активне використання космічного простору у військових цілях, а також в інтересах науки, господарської та інших видів діяльності. При цьому космічними програмами ряду держав, в тому числі України, передбачається розробка нових або вдосконалення існуючих космічних систем (КС) розвідки, навігації, зв'язку та інших космічних інформаційних систем [1].

Особливе місце серед перспективних КС належить космічним системами спостережень (КСС), зокрема космічні системи дистанційного зондування Землі (КС ДЗЗ) та КС подвійного призначення, створювані, у першу чергу, в інтересах національної безпеки та оборони. У їхньому складі, зазвичай, функціонують космічні апарати (КА) на низьких (висоти 400...800 км) майже колових сонячно-синхронних орбітах (ССО), на яких установа бортова цільова (знімальна) апаратура (БЦА) оптико-електронного (ОЕСп), радіолокаційного (РЛСп), фотографічного спостереження та/або їх комбінації.

Традиційно КСС використовуються для вирішення *планових завдань*, коли споживачі ЦІ завчасно подають заявки на спостереження певних районів Землі, а орган *управління* системою планує роботу орбітальних і наземних засобів, формує відповідну бортову програму *управління* (БПУ) та передає її на КА, де вона планово реалізується в заданий час.

Як свідчить досвід останніх подій у світі, КСС може бути одним із основних джерел інформації для вирішення *оперативних завдань* – завдань, які необхідно виконувати терміново або за обмежений час у будь-який час року та доби в інтересах оборони, безпеки, попередження техногенних катастроф, кризових та надзвичайних ситуацій.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Окремі питання застосування КСС в умовах виконання планових завдань можна знайти в роботах [2, 3, 4]. У роботі [5] пропонується підхід до планування спостережень засобами КСС із врахуванням параметрів їх орбітального руху та геометричної форми заданих районів. Алгоритм автоматизованого вибору доступних КСС, придатних для зйомки заданих районів земної поверхні в умовах обмеженого часу на спостереження та при заданих вимогах до якості цільової інформації, запропоновано в роботі [6]. Але в цих та інших роботах здебільшого досліджуються питання управління технічними (орбітальними та наземними) засобами (так званий функціональний підхід). При цьому вирішенню проблеми управління процесом космічних спостережень приділено не достатньо уваги.

Виходячи з цього, **метою** статті є аналіз проблем ефективного управління процесом космічних спостережень в умовах виконання вказаних оперативних завдань та розробка напрямків їх вирішення.

Викладення основного матеріалу. На сучасному етапі джерелами ЦІ для потреб України можуть виступати (рис. 1):

© С.П. Фриз, 2014

в) об'єднані (вітчизняні та зарубіжні) КСС.



Рис. 1. Можливості КСС щодо спостереження Землі

Останнім передбачається кооперація власних та доступних зарубіжних КСС. Створення таких «об'єднаних» КСС може бути доцільним з огляду як на обмежені фінансово-економічні та технічні можливості України, так і на важливість вирішуваних завдань міжнародного значення.

У даній статті термін «об'єднані КСС» вжито в розумінні комплексного використання ЦІ від вітчизняних та зарубіжних КСС, а не об'єднання технічних засобів цих систем. У такому разі розрізнятимемо ЦІ від вітчизняних КСС, ЦІ від зарубіжних КСС та космічну ЦІ (тобто ЦІ від об'єднаних КСС).

Такі об'єднані КСС можуть забезпечити за масштабами – глобальний та/або регіональний, за тривалістю – безперервний та/або епізодичний (вибірковий), за оперативністю – неоперативний та/або оперативний моніторинг земної поверхні, а за деталістю ЦІ – оглядові та/або детальні спостереження.

Складові процесу отримання ЦІ від вітчизняних та зарубіжних КСС умовно зображені на рисунку 2, де ці складові розділені на три категорії: ті, що є предметом досліджень автора (суцільні лінії); ті, що є предметом досліджень частково (квадратні точки); ті, що не входять до предмета досліджень (пунктирні лінії).

Зрозуміло, що серед виділених складових особливе місце належить процесу спостереження за наземними об'єктами (НО) і збору ЦІ від них. При цьому операція спостереження реалізується за рахунок орбітального і кутового руху КА та зони огляду БЦА, в межах якої здійснюється сканування миттєвим полем зору БЦА і послідовний збір ЦІ від окремих деталей (елементів розрізнення) НО¹.

Структура каналу отримання ЦІ типової КС оптико-електронного спостереження подана на рисунку 3, причому для врахування різного впливу на вхідні та вихідні відносно КА випромінювання зовнішнього середовища воно умовно розділене на середовище 1 (Ср 1) і середовище 2 (Ср 2).

Стосовно наземних об'єктів ЕМВ може бути корисним EMB^+ , заважаючим (перешкодою) EMB^- або марним (але таким, що не заважає) EMB^0 випромінюванням.

Тоді на вхід КСС у загальному випадку надходить суміш цих сигналів, тобто:

$$EMB^* = \{EMB^+, EMB^0, EMB^-\}, \quad (1)$$

де верхній правий індекс * означає кожен із символів +, 0, -, або сполучення цих символів, тобто $* = \{+, 0, -\}$.

¹ Аббревіатура НО (наземні об'єкти) в межах даної статті вжито як узагальнююче поняття для таких категорій, як райони і об'єкти спостереження (РОСП) або тільки райони спостереження (РСп), або тільки об'єкти спостереження (ОСП), тобто $НО = \{РОСП, РСп, ОСП\}$

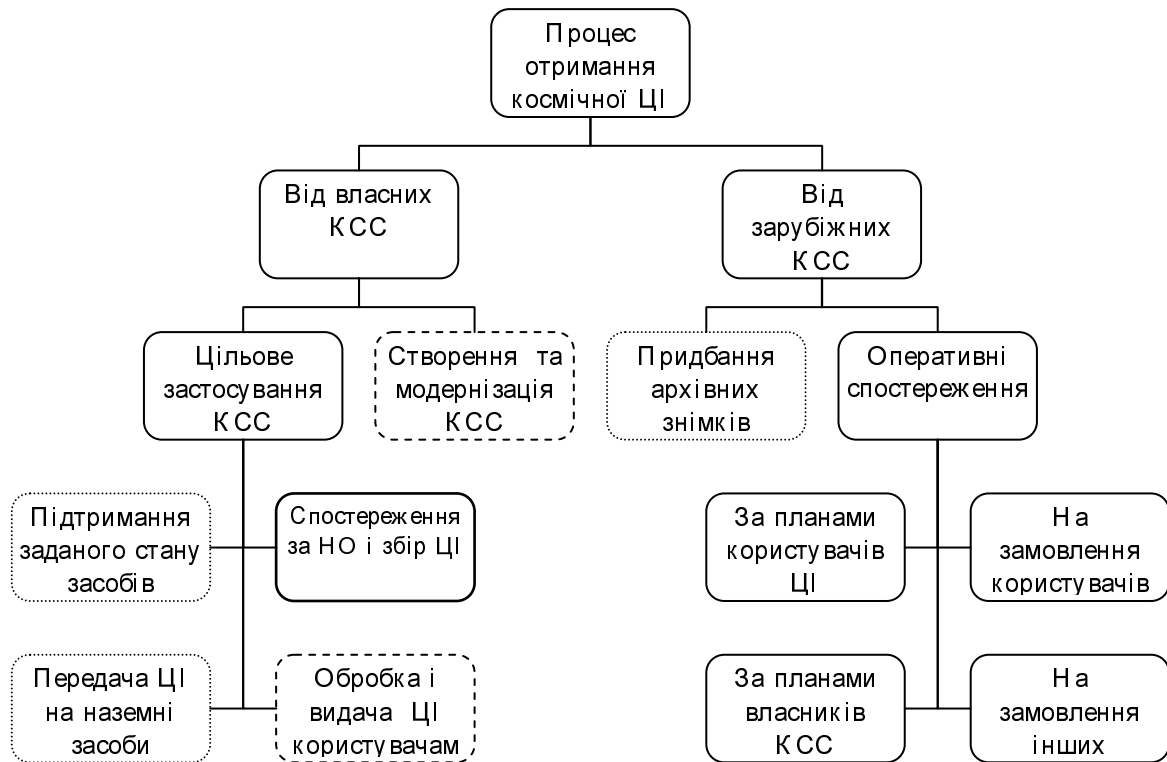


Рис. 2. Складові процесу отримання ЦІ від КСС

Крім того, за спектром ЕМВ прийнято розділяти на оптичне випромінювання EMB_o та радіовипромінювання або радіохвилі EMB_p , тобто:

$$EMB_* = \{EMB_o, EMB_p\}. \quad (2)$$

Оснoву технічних засобів каналу отримання ЦІ становлять бортовий (БІК) і наземний (НІК) інформаційні комплекси. З огляду на складові процесу отримання ЦІ цей канал можна подати функціональною схемою (рис. 4).

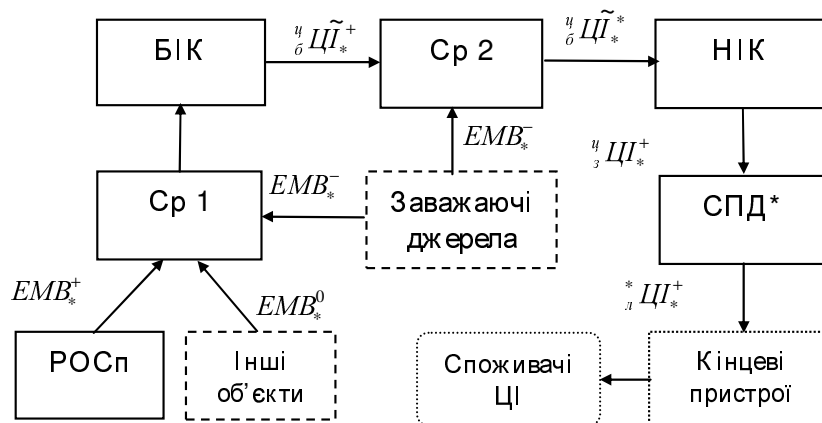


Рис. 3. Структура каналу отримання ЦІ типової КС оптико-електронного спостереження (*СПД – система передачі даних)

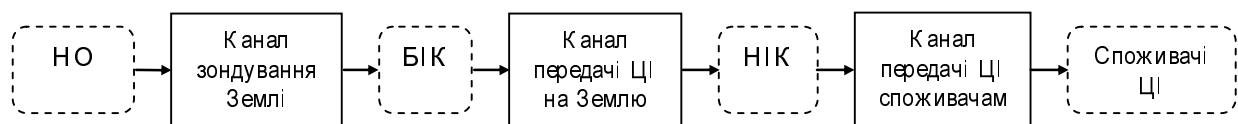


Рис. 4. Функціональна схема каналу отримання ЦІ

Роль БІК полягає у зборі корисного EMB_o^+ від необхідних замовників НО та його передачі на Землю (на НІК) у вигляді ${}^u\tilde{C}\tilde{I}_o^+$. Це випромінювання має випадковий характер. Він обумовлений впливом середовища на поширення ЕМВ при зборі інформації (Ср 1), а також впливом на БІК інших об'єктів і джерел заважаючих випромінювань.

З огляду на задекларований в межах статті процесний підхід основні функції БІК мають такі складові:

- а) періодичний детермінований огляд заданих НО;
- б) збір і сприйняття ЕМВ із цих НО (просторова і радіометрична селекція);
- в) спектральна селекція ЕМВ у заданому діапазоні;
- г) перетворення ЕМВ в електричні аналогові або імпульсні сигнали;
- д) перетворення цих сигналів у цифрові сигнали;
- е) формування бортової ЦІ (формування синхросигналів, кодування та шифрування інформації, упакування її в інформаційні кадри);
- ж) передавання бортової ЦІ в радіолінію (РЛ) «борт–Земля» або її запам'ятовування у бортовому запам'ятовуючому пристрої (БЗП);
- е) перетворення бортової ЦІ в радіосигнали (модуляція);
- ж) передавання цих радіосигналів через РЛ «борт–Земля» на НІК.

Умовно роль БІК оптико-електронного типу можна представити таким алгоритмом:

$${}_zEMB_o^* \rightarrow {}_{zc}EMB_o^* \rightarrow {}_oEMB_o^+ \rightarrow {}_o^aCI_o^+ \rightarrow {}_o^uCI_o^+ \rightarrow {}_o^u\tilde{C}\tilde{I}_o^+ \rightarrow {}_{oc}^u\tilde{C}\tilde{I}_o^+, \quad (3)$$

де ${}_zEMB_o^*$ – суміш корисного, марного та заважаючого ЕМВ оптичного і радіодіапазонів на Землі в місці розташування спостережуваних НО;

стрілка \rightarrow означає процес перетворення або передачі випромінювання чи інформації;

${}_{zc}EMB_o^*$ – суміш корисного, марного та заважаючого ЕМВ оптичного і радіодіапазонів від НО, що пройшла через середовище Ср 1 і поступила на вхід БІК;

${}_oEMB_o^+$ – корисне ЕМВ оптичного діапазону на борту КА, відселекційоване БІК із вхідної суміші;

${}_o^aCI_o^+$ – корисна ЦІ у вигляді аналогових відеосигналів, сформована на борту КА із корисного ЕМВ оптичного діапазону;

${}_o^uCI_o^+$ – корисна ЦІ у вигляді цифрових відеосигналів, сформована на борту КА із аналогових відеосигналів ЦІ;

${}_o^u\tilde{C}\tilde{I}_o^+$ – корисна ЦІ у вигляді цифрових радіосигналів, сформована на борту КА із цифрових відеосигналів ЦІ;

${}_{oc}^u\tilde{C}\tilde{I}_o^+$ – корисна ЦІ у вигляді цифрових радіосигналів, передана з борту КА в середовище Ср 2 для передавання на НІК.

У такому ж контексті роль НІК полягає у прийомі інформації ${}_{oc}^u\tilde{C}\tilde{I}_o^*$, спотвореної середовищем Ср 2, і перетворенні її до зручного для споживачів виду ${}_{oc}^*CI_o^+$.

При цьому серед часткових завдань НІК можна виділити такі:

- а) просторове спостереження за КА;
- б) прийом і частотна селекція радіосигналів бортової ЦІ;
- в) демодуляція радіосигналів;
- г) розпакування кадрів, дешифрування і декодування інформації;
- д) обробка інформації (виділення корисної складової, її корекція, ідентифікація, прив'язка до орієнтирів, перетворення до зручного виду);
- е) передача обробленої інформації споживачам.

Умовно роль НІК з урахуванням виразу (3) можна подати таким алгоритмом:

$${}_{oc}^u\tilde{C}\tilde{I}_o^* \rightarrow {}_z\tilde{C}\tilde{I}_o^* \rightarrow {}_zCI_o^* \rightarrow {}_{oc}^*CI_o^+. \quad (4)$$

Таким чином, за допомогою залежностей (1)..(4) можна у формалізованому вигляді подати процес отримання ЦІ в КСС в цілому, а також виділити із нього його першу складову – процес спостережень (зондування, моніторингу) заданих НО. Зрозуміло, що на цей процес впливає низка негативних факторів зовнішнього середовища Ср 1. Крім того, у певних умовах може виникати потреба цілеспрямовано змінювати алгоритм спостережень або окремі параметри задіяних технічних засобів. У зв'язку з цим завжди існує необхідність управління цим процесом.

Якщо зосередити увагу на завданнях тільки *оперативного оглядового та/або детального* ОЕСп в рамках *епізодичного моніторингу окремих регіонів Землі*, то в цих умовах виникає **проблема ефективного управління процесом спостережень** вітчизняними засобами та *раціонального використання* ЦІ від зарубіжних систем.

Виходячи з цього, поняття *ефективного управління* як операції, що забезпечує найкращий ефект від застосування технічних систем у даних умовах [7], стосовно процесу отримання космічної ЦІ потребує уточнення.

По-перше, врахуємо загальне визначення *процесу* як послідовної зміни станів, стадій розвитку, сукупності послідовних дій для досягнення певного результату [8]. З огляду на це у нашому випадку фактично досліджується *процес управління процесом спостережень*, що з точки зору лексики являє собою не дуже вдалу конструкцію для визначення предмета досліджень. Тому в подальшому, де це можливо, формально уникатимемо подібних тавтологій, вживаючи, наприклад, термін «технологія управління».

По-друге, врахуємо, що у загальному випадку під *процесом управління* розуміють [8] сукупність окремих видів діяльності, спрямованих на забезпечення функціонування і розвитку системи в інтересах досягнення поставлених перед нею цілей. При цьому в процесі управління вирішуються два типи завдань:

тактичні, пов'язані з підтримкою стійкості і взаємодії всіх елементів системи;
стратегічні, що забезпечують розвиток і вдосконалення системи.

Виходячи з цього, виділимо такі *особливості управління* процесом отримання космічної ЦІ:

а) вважатимемо, що вітчизняна КСС створена, функціонує правильно і відповідає висунутим до неї вимогам; з огляду на це обмежимося тільки *тактичними* завданнями управління;

б) організовуючи управління, виходитимемо з основної вимоги до КСС – оперативне отримання максимальних обсягів корисної ЦІ потрібної якості в заданий час доби і року із заданих районів Землі за мінімальних витратах ресурсів та прийнятної вартості (релевантна ЦІ);

в) до поняття «управління процесом спостережень» враховуватимемо операції як безпосереднього впливу на процес (моделювання, планування, формування БПУ й її реалізацію, а також контроль результатів), так і операції вибору, врахування, замовлення, придбання тощо. Таке розширене тлумачення процесу управління має суттєве значення з огляду на використання ЦІ від зарубіжних КСС, а також через необхідність парирування негативного впливу на якість ЦІ зовнішніх факторів;

г) врахуємо, що процес управління в КСС порівняно з наземними системами ускладнюється тим, що разом із традиційними завданнями управління їх технічним станом і режимами роботи необхідно управляти орбітальним і кутовим *рухом* КА;

е) підкреслимо, що стосовно КА управління його станом і процесом спостережень можна реалізувати в автоматичному, автоматизованому, ручному або в змішаних режимах. У першому випадку рішення на управління, його реалізація і контроль результатів здійснюються на борту КА без участі наземних засобів. У другому випадку управління реалізується відповідно до БПУ, яка формується на Землі (програмне управління). У ручному режимі використовуються разові або екстрені команди управління КА, а змішане управління поєднує у собі елементи зазначених режимів.

З урахуванням цього складові управління процесом спостережень *вітчизняними* КСС наведені на рисунку 5, де вони розділені на три категорії: ті, що є предметом досліджень автора (суцільні лінії); ті, що є предметом досліджень частково (квадратні точки), а також ті, що безпосередньо не стосуються процесу спостережень (пунктирні лінії). Щодо зарубіжних КСС, то вони на рисунку 5 не показані, оскільки у вітчизняних користувачів можливості управління чужими засобами або процесами значно менші.



Рис. 5. Варіант класифікації складових управління процесом спостережень вітчизняними КСС

Як видно з рисунку 5, управління процесом спостережень в КСС є достатньо складним і багатоплановим. При цьому серед виділених складових особливе місце займають *орбітальний* та *кутовий* рух КА і *управління* цими видами руху.

Але якщо за рахунок вибору відповідних параметрів орбіт [9] орбітальний рух можна зробити слабо еволюційним і добре передбачуваним, а отже, зрідка керованим, то кутовий (обертювий) рух є більш динамічним, а отже, вимагає частого втручання. Це зумовлено як безперервним впливом на цей рух зовнішніх і внутрішніх збурювальних факторів [2], так і необхідністю під час ведення спостережень вирішувати завдання заспокоєння КА, його прецизійної орієнтації під час зйомки заданих НО, перенацілювання поля зору на інші НО тощо.

Тому виникає завдання організації *ефективного управління кутовим рухом* КА. Це особливо важливо у процесі детальних спостережень, коли ставляться завдання оперативного виявлення максимальної кількості об'єктів, визначення їх координат, розпізнавання виду, класу, типу і стану НО та їх державної приналежності за обмежених бортових ресурсів і фіксованої вартості КСС.

Взагалі під «ефективним управлінням» розуміють операцію, що забезпечує найкращий ефект від застосування технічної системи в даних умовах [7]. У нашому випадку додатково зазначимо, що термін «*ефективне управління*» є узагальнюючим щодо таких різновидів управління, як прийнятне (припустиме), раціональне (доцільне, більш досконале), оптимальне, адаптивне [8].

У зв'язку з цим виникає наукова проблема щодо розробки технології ефективного управління процесами космічного спостереження під час вирішення оперативних завдань в умовах обмежених бортових ресурсів. При цьому для однозначності в межах даної статті під *технологією* розумітимемо сукупність моделей, методів, способів, засобів, алгоритмів, математичного апарату та інших атрибутів, які забезпечують досягнення КСС поставлених цілей.

У такому разі, якщо вважати наявну *технологію* управління $ТЛ_y$ процесами космічних спостережень *діючих* КСС *принятною* $ТЛ_y = ТЛ_{np}$, але *недосконалою*, то завдання полягає в тому, щоби цю технологію *вдосконалити* і коректно застосувати як для *діючих*, так і для *перспективних* космічних засобів ОЕСп. Таку вдосконалену технологію називатимемо технологією *ефективного управління* $ТЛ_{ef}$. Формально таке завдання можна представити як:

$$ТЛ_y^* = ТЛ_{np} \cup ТЛ_{ef}, \quad ТЛ_{ef} = ТЛ_{rc} \cup ТЛ_{om} \cup ТЛ_{ad} \cup ТЛ_{\Delta}, \quad (4)$$

де індексами rc , om , ad , Δ позначені технології раціонального, оптимального, адаптивного та інших прогресивних видів управління, а символом \cup – операція об'єднання.

Особливість наявних та перспективних КСС в контексті оперативності отримання ЦІ полягає в такому:

По-перше, КА на низьких майже колових (типових) ССО здійснюють навколо Землі близько 15 витків за добу, але не всі ці витки придатні (із геометричних міркувань) для оперативних спостережень за одним і тим же НО. Наприклад [10], для КА типу GeoEye-1 тільки один із 44, типу Січ-2 – один із 60, типу TopSat-1 – один із 410 витків проходить над одним і тим самим районом, тобто є потенційно придатним для спостережень за ним.

Крім того, лише половина із потенційно придатних витків проходить над цим районом у денний час, що має принципове значення для організації ОЕСп. Таким чином, будь-який із одиночних КА на сонячно-синхронній орбіті не може забезпечити високу (наприклад, 1...2 доби) оперативність спостережень.

По-друге, для КА на типових ССО тільки чверть із 15 витків за добу можуть забезпечити пряму видимість між КА і певним наземним пунктом (НП) НІК для прийому ЦІ, що додатково знижує оперативність її отримання.

По-третє, сучасні КСС мають у своєму складі різні типи КА, які відрізняються як просторово-часовим положенням, так і типами БЦА та їх тактико-технічними характеристиками. Тому в разі потреби отримувати ЦІ від цих КСС постають питання вибору найбільш придатних (релевантних) КА та раціонального формування з них (віртуально) тимчасових оперативних орбітальних групувань (ОГ).

По-четверте, при формуванні оперативних ОГ необхідно враховувати державну приналежність КА, їх доступність для вітчизняних користувачів та вартість ЦІ.

Навіть такий неповний аналіз особливостей отримання ЦІ від сучасних КСС свідчить про те, що з огляду на вимогу оперативності необхідно створювати нову або удосконалювати наявну технологію управління процесами космічних спостережень під час вирішення оперативних завдань в умовах обмежених ресурсів.

При цьому слід враховувати низку суперечливих тактичних вимог до КСС, а саме:

1. Прийнятна *оперативність* отримання ЦІ – отримання ЦІ у задану дату $d \in \mathbf{d}_3$, та на заданому інтервалі часу спостереження в цю дату відносно m -го району:

$$\Delta t_{\delta}^{\bar{n}}(d) \in \Delta t_{\delta c}^{\bar{n}}(\mathbf{d}_c), \Delta t_m^c(d) = [t_m^u(d), t_m^k(d)] \quad (5)$$

та/або f -го об'єкта:

$$\Delta \tau_f^{\bar{n}}(d) \in \Delta \tau_f^{\bar{n}}(\mathbf{d}_c), \Delta \tau_f^c(d) = [\tau_f^u(d), \tau_f^k(d)] \quad (6)$$

де \mathbf{d}_3 – множина заданих дат спостереження;

$\Delta t_{\delta c}^{\bar{n}}(\mathbf{d}_c)$, $\Delta \tau_f^{\bar{n}}(\mathbf{d}_c)$ – множина заданих часових інтервалів спостережень за m -м районом і f -м об'єктом відповідно в задані дати \mathbf{d}_3 ;

$t_m^u(d)$, $t_m^k(d)$ – моменти *початку* та *кінця* спостереження за m -м районом у дату d ;

$\tau_f^u(d)$, $\tau_f^k(d)$ – моменти *початку* та *кінця* спостереження за f -м об'єктом у дату d .

2. Повнота спостереження заданих районів – спостереження всіх або максимальної кількості заданих за назвою (номером, іменем) P_τ , важливістю (пріоритетом) γ_τ^p та кількістю M районів:

$$P_\tau \in \mathbf{P}_3, \gamma_\tau^p \in \gamma_3^p, m = \overline{1, M}, \quad (7)$$

де \mathbf{P}_3 , γ_3^p – множини *заданих* для спостереження районів та їх пріоритетів відповідно.

3. Повнота обслуговування заданих об'єктів – спостереження всіх або максимальної кількості заданих за назвою (номером, іменем) p_f , важливістю (пріоритетом) γ_f^p та кількістю F об'єктів:

$$p_f \in \mathbf{p}_3, \gamma_f^p \in \gamma_3^p, f = \overline{1, F}, \quad (8)$$

де \mathbf{p}_3 , γ_3^p – множини *заданих* для спостереження об'єктів та їх пріоритетів відповідно.

4. Прийнятна *якість* ЦІ – отримання ЦІ із заданими геометричними, часовими, спектральними, радіометричними та іншими показниками якості:

$$\mathbf{Y}^J = \{Y_i^J\}, Y_i^J \in \mathbf{Y}_3^J, i = \overline{1, \mathfrak{J}^J}, \quad (9)$$

де \mathbf{Y}_3^J – множина заданих показників якості ЦІ.

5. Достовірність ЦІ – отримання ЦІ, яка з імовірністю $P^* \approx 1$ відображає відомості щодо спостережуваних НО.

6. Повнота обслуговування замовників – видача ЦІ всім або максимальній кількості заданих за назвою (номером, іменем) $Z_{ю}$, важливістю (пріоритетом) $\gamma_{ю}^Z$ та кількістю $Ю$ замовників $Z_{ю} \in Z$, $\gamma_{ю}^Z \in \gamma^Z$, $ю = 1, Ю$.

7. Економічність – мінімальні витрати бортових ресурсів $\Theta_m^E(n) = \min$ у процесі спостереження за m -м районом на n -му витку орбіти.

8. Мінімальна вартість – мінімальні фінансові, матеріальні та інші витрати на цільове застосування КСС $\tilde{N}_{ог} = \min$.

Висновки:

1. На основі короткого аналізу структури і можливостей типової КСС і декомпозиції процесу її функціонування (цільового застосування) синтезовано графічні моделі процесу отримання ЦІ, процесу спостереження за НО та управління цим процесом.

2. Оскільки запропоновано розглядати технологію управління не окремими технічними засобами, а процесом спостережень, то можуть виникати ситуації, коли прийнятна якість ЦІ забезпечується не обов'язково за умови найкращих показників технічного стану або режимів роботи окремих технічних засобів (ефект системного підходу).

Наприклад, якщо необхідно швидко отримати ЦІ з важливого НО, а траса КА не проходить на поточному витку через цей НО, то для досягнення заданої оперативності можна відвернути поле зору КА за креном і провести зйомку, вигравши в часі, але програвши в якості самої ЦІ за рахунок відхилення поля зору від надиру.

Список використаної літератури:

1. Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 берез. 2011 р. № 238-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
2. Попович П.Р. Баллистическое проектирование космических систем / П.Р. Попович, Б.С. Скребушевский. – М. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
3. Ханцеверов Ф.Р. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли / Ф.Р. Ханцеверов, В.В. Остроухов. – М. : Машиностроение, 1989. – 264 с.
4. Лебедев А.А. Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование / А.А. Лебедев, О.П. Нестеренко. – М. : Машиностроение, 1991. – 224 с.
5. Фриз С.П. Можливий підхід до планування спостережень космічними апаратами / С.П. Фриз, В.В. Петрозалко, В.В. Ожінський // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – Вип. 4. – С. 87–96.
6. Фриз П.В. Алгоритм автоматизованого вибору релевантних космічних апаратів для оптико-електронного спостереження заданих районів Землі / П.В. Фриз, О.М. Кондратов // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – Вип. № 2 (61). – С. 138–146.
7. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко и др. – Харьков : Факт, 1997. – 240 с.
8. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / В.У. Торбин, Г.Н. Охотников, Е.С. Егоров и др. ; под ред. Ю.В. Уткина, В.Ф. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
9. Фриз П.В. Основи орбітального руху космічних апаратів : підручник / П.В. Фриз. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 348 с.
10. Організація балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами : підручник / О.Б. Захаров, В.О. Гуменюк, Р.М. Залужний та ін. ; під заг. ред. М.С. Сівова. – К. : НАОУ, 2007. – 508 с.

ФРИЗ Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних і космічних систем Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій.

Наукові інтереси:

- проблеми планування в космічних системах;
- оптимізаційні моделі процесів у технічних системах.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2014