

УДК 629:78

Юрій Григорович Даник  
Олег Александрович Білобородов

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОРБІТАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Відповідно до національних програм розвитку космічної галузі в Україні триває процес створення та введення в експлуатацію космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Стрімкий розвиток геоінформаційних технологій, можливостей засобів отримання та обробки даних дистанційного зондування в останні роки призвели до суттєвого підвищення ефективності виконання завдань, пов'язаних з аналізом просторових даних та відношень між ними. Тенденції до розширення кількісного складу засобів дистанційного зондування призводять до необхідності вирішення актуального завдання щодо дослідження їх просторово-часових та інформаційних можливостей.

Враховуючи високу вартість практичного експерименту, імітаційне моделювання широко використовується для дослідження процесів цільового застосування космічних систем ДЗЗ. Існуючі методи оцінки просторово-часових та інформаційних можливостей космічних систем ДЗЗ орієнтуються, переважно, на дослідження угруповань космічних апаратів (КА) з однотиповими орбітальними параметрами та тактико-технічними характеристиками апаратури. В [1] на основі результатів моделювання досліджуються питання синтезу структури однорідного орбітального комплексу космічної системи ДЗЗ. В [2, 3] розглядається вплив обстановки в районі зйомки на очікувані показники якості застосування космічних апаратів ДЗЗ. В [4] досліджується процес цільового застосування космічного апарату ДЗЗ з урахуванням динамічних характеристик знімальної апаратури. При цьому в дослідженнях недостатньо висвітлене питання моделювання застосування знімальної апаратури, що має різні характеристики та встановлена на космічних апаратах з різними орбітальними параметрами.

Метою статті є вирішення завдання моделювання цільового застосування орбітального інформаційного комплексу (ОІК) для вирішення завдання оцінки просторово-часових та інформаційних можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі.

Для досягнення мети статті авторами було розроблено часткові моделі, на основі яких

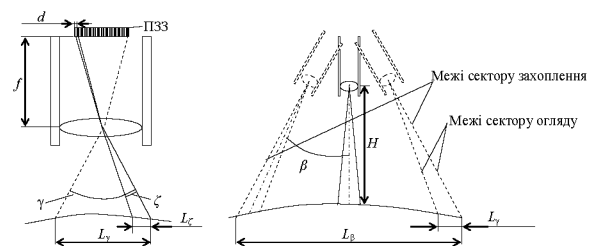
здійснюється імітаційне моделювання процесів цільового застосування апаратури зі складу орбітального інформаційного комплексу.

### Модель формування зображення

Для підвищення точності відтворення процесів зйомки апаратурою бортового інформаційного комплексу було проведено дослідження геометричних співвідношень, що визначають смугу захоплення, смугу огляду та просторову розрізненість. Введемо наступні позначення:

область простору, в межах якого апаратура бортового інформаційного комплексу здатна отримувати дані під час знімання, будемо називати сектором захоплення (за аналогією із смугою захоплення [5], рис. 1);

область простору, межу якого визначає поле зору апаратури бортового інформаційного комплексу, будемо називати сектором огляду (за аналогією із смугою огляду [5], рис. 1).



**Рис. 1. Геометричні параметри, що визначають просторові та інформаційні показники даних дистанційного зондування:  $\zeta$  – миттєвий кут поля зору елементарного інформаційного каналу,  $\gamma$  – кут поля зору знімальної апаратури,  $H$  – висота польоту КА,  $L_\zeta$  – просторова розрізненість на місцевості,  $L_\gamma$  – ширина смуги огляду,  $L_\beta$  – ширина смуги захоплення,  $f$  – еквівалентна фокусна відстань,  $d$  – крок елементів приладу реєстрації оптичного випромінювання**

Обмеження апаратури щодо кута поля зору та кута відхилення визначають миттєві (на заданий час) границі сектора огляду:

$$S_o(t) \subset \left[ \beta(t) - \frac{\gamma}{2}, \beta(t) + \frac{\gamma}{2} \right],$$

де  $\gamma$  – кут поля зору знімальної апаратури;

$\beta(t)$  – миттєвий кут відхилення від напрямку в надир оптичної осі знімальної апаратури.

Область значень  $\beta(t)$ :

$$E(\beta(t)) = \left[ -\frac{\beta_{\max}}{2}, \frac{\beta_{\max}}{2} \right],$$

що дозволяє визначити межі сектору захоплення:

$$S_m \in \left[ -\frac{\beta_{\max}}{2} - \frac{\gamma}{2}, \frac{\beta_{\max}}{2} + \frac{\gamma}{2} \right].$$

Для КА ДЗЗ з апаратурою радіолокаційного спостереження сектор огляду в загальному випадку може змінюватись в залежності від режиму роботи (різні характеристики зондуючих сигналів дозволяють змінювати оглядовість та просторову розрізненість на місцевості). Для симетричного розкриття можна записати:

$$E(\beta(t)) = \left[ -\frac{\beta_{\max}}{2}, -\frac{\beta_{\min}}{2} \right] \cup \left[ \frac{\beta_{\min}}{2}, \frac{\beta_{\max}}{2} \right],$$

де  $\frac{\beta_{\min}}{2}$  – мінімальне допустиме відхилення від

напрямку в надир, що дозволяє сприймати окремо відбитий сигнал та забезпечує задані показники просторової розрізненості на місцевості (визначається на етапі проектування системи та відповідає певному режиму зйомки або роботи апаратури).

Розглянемо відхилення оптичної осі знімальної апаратури за кутом крену (відхилення осі в площині, що перпендикулярна до площини орбіти та проходить через початок барицентричної системи координат). Для відхилення за кутом крену сектор захоплення обмежений:

$$E(S_m) = \begin{cases} z_a \geq y_a \cdot \operatorname{tg} \left( -\frac{\beta_{\max}}{2} - \frac{\gamma}{2} \right); \\ z_a \leq y_a \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\beta_{\max}}{2} + \frac{\gamma}{2} \right); \\ y_a > 0; \\ x_a = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Миттєвий сектор огляду обмежений областю:

$$E(S_o(t)) = \begin{cases} z_a \geq y_a \cdot \operatorname{tg} \left( \beta(t) - \frac{\gamma}{2} \right); \\ z_a \leq y_a \cdot \operatorname{tg} \left( \beta(t) + \frac{\gamma}{2} \right); \\ y_a > 0; \\ x_a = 0. \end{cases} \quad (2)$$

При визначенні просторово-часових та інформаційних можливостей ОІК визначається район, призначений для знімання. Оскільки модель формування зображення та географічні межі заданого району описуються в різних системах координат (СК), формалізуємо опис розглянутих секторів у вигляді, що дозволяє здійснювати перехід між різними СК.

Площина, що утримує сектор огляду (захоплення). Для формалізованого опису, придатного для геометричних перетворень, визначимо рівняння площини через точку  $M_0(x_0, y_0, z_0)$ , перпендикулярну вектору нормалі

$$\vec{N} = (x_N, y_N, z_N):$$

$$x_N(x - x_0) + y_N(y - y_0) + z_N(z - z_0) = 0. \quad (3)$$

Визначивши координати точки  $M_0$  та вектору  $N$  в барицентричній СК, можна здійснити подальші геометричні перетворення в іншу СК і отримати рівняння площини в новій системі. Для виконання обчислень за точку  $M_0$  було обрано початок барицентричної СК, вектор нормалі без відхилень – орт осі абсцис, а саме:  $\vec{N} = (1, 0, 0)$ . При відхиленні оптичної осі знімальної апаратури здійснюються відповідні перетворення координат вектора  $N$ . Після перетворення координат їх відповідні значення підставляють в (3).

Обмежувальні прямі секторів захоплення та огляду використовуються для вирішення завдання пошуку часу та координат перетину секторів огляду (захоплення) із заданим районом. Обмежувальні прямі доцільно формалізувати канонічним рівнянням через точку  $M_0(x_0, y_0, z_0)$

та спрямовуючий вектор прямої  $\vec{C} = (x_C, y_C, z_C)$ :

$$\frac{x - x_0}{x_C} = \frac{y - y_0}{y_C} = \frac{z - z_0}{z_C}.$$

Визначивши координати точки  $M_0$  (фактично – початок координат) та вектору  $\vec{a}$  через (1) та (2) (замінивши в перших двох виразах знак обмеження на рівність), можна здійснити подальші геометричні перетворення в іншу СК і отримати рівняння обмежувальних прямих в новій СК.

Для дослідження часових можливостей перенацілювання оптичної осі знімальної апаратури до складу інформаційно-довідкової системи імітаційної моделі було введено відомості про динамічні характеристики підсистеми повороту оптичної осі. При швидкості перенацілювання за кутом крену  $v_\beta$  та кутом тангажу  $v_\psi$  загальний необхідний час  $t_\phi$  для зміни положення оптичної осі на кут  $\beta$  з урахуванням перехідних процесів  $t_\phi^{\leftrightarrow}$  складає:

$$t_\phi = t_\phi^{\leftrightarrow} + \frac{\beta}{v_\beta}.$$

Проекція сектору захоплення на район розвідки реалізується через смуги огляду та захоплення. Геометричні співвідношення, що визначають смугу огляду, смугу захоплення, а також просторову розрізненість призводять до необхідності включення до складу ІДС імітаційної моделі наступних параметрів:

еквівалентна фокусна відстань оптичної системи –  $f$ ;

розмір (крок) елемента ПЗЗ –  $d$ ;

кількість елементів ПЗЗ –  $n$ ;  
максимальний кут відхилення оптичної осі від напрямку в надир  $\beta_{\max}$ .

Використовуючи вказані параметри, можна визначити миттєвий кут поля зору елементарного інформаційного каналу  $\zeta = d/f$  та кут поля зору знімальної апаратури  $\gamma = n\zeta$ .

Визначення просторових характеристик зображення полягає в обчисленні просторової розрізненості, ширини смуг захоплення та огляду. Аналіз взаємного розташування зони дії знімальної апаратури та району свідчить про доцільність використання підходу, що полягає у визначенні центрального земного кута, який відповідає кутам зору (відхилення) знімальної апаратури. Центральний земний кут  $\theta$ , що відповідає куту  $\psi$  в барицентричній системі координат (рис. 2), обчислюється за виразом:

$$\theta(\psi) = \arcsin\left(\frac{r_{KA} \cdot \sin(\psi)}{R_E}\right) - \psi,$$

де  $r_{KA}$  – довжина радіус-вектора КА,  
 $R_E$  – радіус Землі.

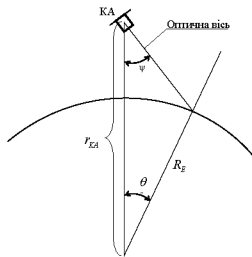


Рис. 2. Барицентрична система координат

Тоді довжину дуги земної поверхні між променями, які обмежені кутами  $\psi_1$  та  $\psi_2$ , можна визначити як:

$$L_\theta = |\Delta\theta| R_E = \left[ \arcsin\left(\frac{r_{KA} \cdot \sin(\psi_2)}{R_E}\right) - \psi_2 \right] - \left[ \arcsin\left(\frac{r_{KA} \cdot \sin(\psi_1)}{R_E}\right) - \psi_1 \right]. \quad (4)$$

Використовуючи (4), визначимо просторову розрізненість в центрі сформованого зображення:

$$L_\zeta = R_E \left( \arcsin\left[\frac{H+R_E}{R_E} \sin\left(\beta - \frac{\zeta}{2}\right)\right] - \arcsin\left[\frac{H+R_E}{R_E} \sin\left(\beta + \frac{\zeta}{2}\right)\right] - \zeta \right),$$

де  $\zeta$  – миттєвий кут поля зору елементарного інформаційного каналу,

$H = r_{KA} - R_E$  – висота польоту КА.

Ширина смуги огляду:

$$L_\gamma = R_E \cdot \left( \arcsin\left[\frac{H+R_E}{R_E} \sin\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right)\right] - \arcsin\left[\frac{H+R_E}{R_E} \sin\left(\beta + \frac{\gamma}{2}\right)\right] - \gamma \right).$$

Ширина смуги захоплення:

$$L_\beta = 2R_E \left( \pi - \beta_{\max} - \frac{\gamma}{2} - \pi + \arcsin\left[\frac{H+R_E}{R_E} \sin\left(\beta_{\max} + \frac{\gamma}{2}\right)\right] \right).$$

Розроблена модель формування зображення дозволяє визначити формалізоване представлення області дії знімальної апаратури, а також визначити просторові характеристики сформованого зображення.

### Модель орбітального руху

Для визначення часових характеристик зйомки заданих районів було обрано модель орбітального руху космічних апаратів, яка придатна для вирішення завдань оцінки просторово-часових можливостей ОІК. Існуючі моделі орбітального руху можуть враховувати всі або більшість збурюючі сил [6, 7, 8]. Вони дозволяють здійснювати прогноз орбітальних параметрів на великих інтервалах часу з високою точністю. Дослідження впливу похибок прогнозу орбітального руху на ефективність виконання цільових завдань космічної системи ДЗЗ достатньо повно виконано в роботах [9, 10]. В практиці дослідження орбітального руху широкого поширення набуло використання орбітальних елементів в форматі Командування повітряно-космічної оборони Північної Америки (NORAD), до яких є режими вільного (анонімного) або авторизованого доступу [10]. Для дослідження точності методів оцінки просторово-часових та інформаційних можливостей КС ДЗЗ було обрано спрощену модель збуреної орбіти SGP4 (Simplified General Perturbations Satellite Orbit Model) [11], яка використовується для КА з періодом обертання  $T < 255$  хв., що відповідає орбітам з розміром великої півосі  $a < 13,5$  тис. км, тобто для більшості діючих на даний час КА ДЗЗ. Орбітальні параметри формату NORAD постійно корегуються. Тому, враховуючи, що використовуються достатньо прості моделі руху КА, використання актуальних даних дозволяє здійснювати достатньо точний прогноз положення космічних апаратів. Загальна блок-схема обчислень, які реалізують модель SGP4 [11], наведена на рис. 3.

На вхід розробленої моделі орбітального руху подається ідентифікатор космічного апарата  $N_{ka}$  та час  $t$ , на який прогноуються орбітальні параметри. На виході отримуються координати КА на заданий час  $\vec{r}_N(t) = \|x_N(t), y_N(t), z_N(t)\|$  в абсолютній геоцентричній (екваторіальній) системі координат.

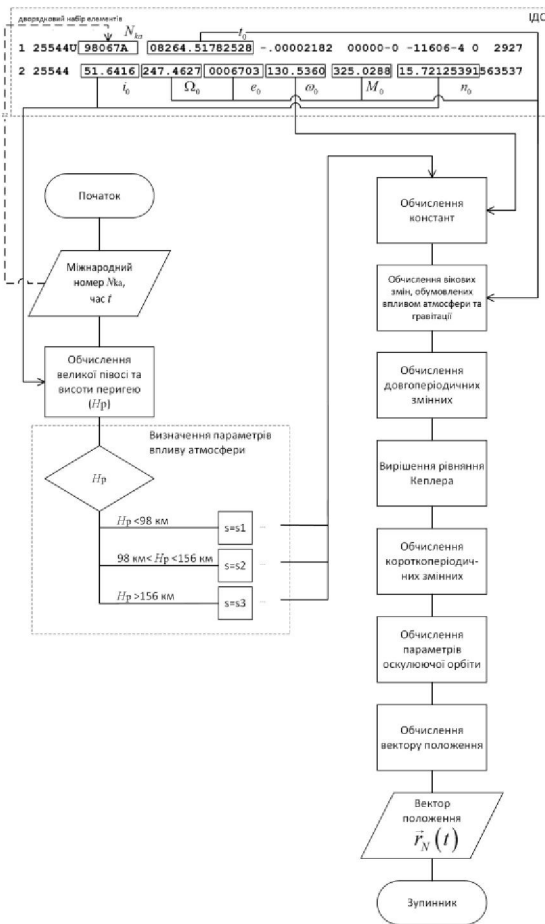


Рис. 3. Блок-схема обчислень, які реалізують модель SGP 4

**Модель координатних перетворень**

Моделі орбітального руху дають вектор положення КА в тій системі координат, для якої вирішуються рівняння його руху. Обрана в рамках дослідження модель руху дає координати центру мас КА в абсолютній геоцентричній системі координат. Оскільки результати моделювання руху КА, положення району зйомки та сектор огляду (захоплення) знімальної апаратури описуються в різних системах координат, для вирішення завдань оцінки просторово-часових можливостей ОІК виникає потреба в багатократних перетвореннях координат. Тому авторами було розроблено модель координатних перетворень.

Основою базових геометричних перетворень оберту і зсуву є апарат однорідних координат, який детально розглянутий в [12]. Матриці складних перетворень отримують шляхом добутку базових. Внаслідок некомутативності перетворень, добуток здійснюється в тому порядку, в якому здійснюються базові перетворення. Оскільки вектор зсуву виражається через координати попередньої системи, то в матриці складного перетворення він виступає першим членом добутку. Позначивши матрицю кутового перетворення

$$\|A^{x \leftarrow \xi}\|_{\angle} = \|\varphi^{\xi_1}\| \cdot \|\psi^{\xi_2}\| \cdot \|\chi^{\xi_3}\|,$$

можна записати загальний вигляд матриці

переходу від однієї СК до іншої:

$$\|A^{x \leftarrow \xi}\| = \|\Delta T\| \cdot \|A^{x \leftarrow \xi}\|_{\angle},$$

де  $\|\Delta T\|$  – матриця зсуву.

Зворотній перехід визначається матрицею:

$$\begin{aligned} \|A^{\xi \leftarrow x}\| &= \|A^{x \leftarrow \xi}\|_{\angle}^T \cdot \|\Delta T\|^{-1} = \\ &= \|A^{x \leftarrow \xi}\|_{\angle}^T \cdot \|\Delta(-T)\|. \end{aligned}$$

Результати аналізу взаємного розташування систем координат, що використовуються для дослідження просторово-часових можливостей ОІК, дозволили розробити матричні співвідношення, що визначають перерахунки координат між системами.

На рис. 4 наведено схему координатних перетворень при здійсненні обчислень під час моделювання процесу застосування орбітального інформаційного комплексу.

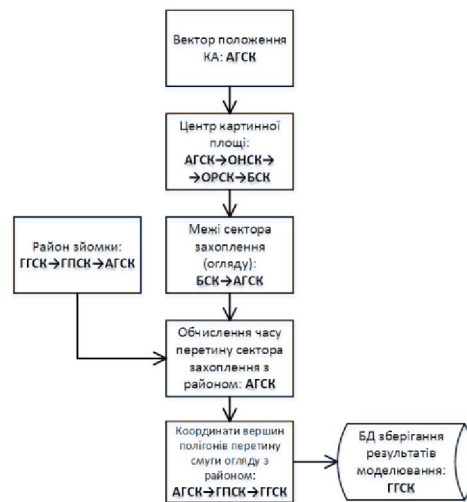


Рис. 4. Схема координатних перетворень: АГСК – абсолютна геоцентрична СК, ОНСК – орбітальна нерухома СК, ОРСК – орбітальна рухома СК, БСК – барицентрична СК, ГГСК – географічна геодезична СК, ГПСК – географічна прямокутна СК

Далі визначаються матриці переходу між системами координат. Перехід від геодезичних координат до координат в гринвічській прямокутній СК:

$$\begin{aligned} x &= (\rho + H) \cos B \cos L, \\ y &= (\rho + H) \cos B \sin L, \\ z &= \left[ (1 - e^2) \rho + H \right] \sin B, \end{aligned}$$

де  $\rho$  – радіус кривизни в першій вертикалі референс-еліпсоїда геодезичної СК.

Матриця переходу від гринвічської прямокутної до абсолютної геоцентричної СК:

$$\begin{aligned} \|A^{agsc \leftarrow gpck}\| &= \|\gamma z\|, \\ \gamma &= S_0 + \omega_3 (t - t_0), \end{aligned}$$

де  $\omega_3 = 7,29211510 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$  – абсолютна кутова швидкість обертання Землі;  $S_0$  – зоряний час в середню гринвіцьку північ для заданої дати;

$t$  та  $t_0$  – середній сонячний час, ( $t=0$ , якщо поточний час гринвіцький).

Матриця переходу від орбітальної нерухомої до абсолютної геоцентричної СК:

$$\|A^{r,a \leftarrow \omega}\| = \left\| \frac{\pi}{2} z \cdot \|\pi x\| \cdot \|\Omega x\| \cdot \|iy\| \cdot \|\omega z\| \right\|.$$

Положення орбітальної рухомої СК відносно орбітальної нерухомої визначається кутом  $\vartheta$  – істиною аномалією. ОНСК обертається навколо осі  $Oz_\omega$  в напрямку руху КА (тобто, за годинниковою стрілкою). Крім того, здійснюється зсув початку системи координат на вектор  $\| -r \cdot \cos(\vartheta), -r \cdot \sin(\vartheta), 0 \|$ , де  $r = |\vec{r}|$  – величина радіус-вектора КА. Отже, матриця переходу від орбітальної нерухомої до орбітальної рухомої СК:

$$\|A^{0 \leftarrow \omega}\| = \| -\vartheta z_\omega \| \cdot \|\Delta T^{0 \leftarrow \omega}\|,$$

де

$$\|\Delta T^{0 \leftarrow \omega}\| = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ r \sin(\vartheta) & r \cos(\vartheta) & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Область дії апаратури (сектор захоплення та сектор огляду). Оскільки відлік кутів відхилення апаратури спостереження зазвичай здійснюють від напрямку в надир, до розгляду було введено СК апаратури спостереження – барицентричну СК. Оскільки БСК – це ОРСК, що обернена навколо осі  $Ox_0$  на кут  $\pi$  проти годинникової стрілки, то матриця переходу:

$$\|A^{a \leftarrow 0}\| = \|\pi x_0\|.$$

Відхилення осі апаратури за кутом тангажу (навколо осі  $Pz_a$  – вздовж траси, або в площині орбіти) на кут  $\chi$  відповідає оберту БСК:

$$\| \vec{r}_\chi \| = \| -\chi z_a \| \cdot \| \vec{r}_a \|,$$

де  $\| -\chi z_a \|$  – матриця направляючих косинусів, що визначають перехід від БСК до ОРСК ( $\chi$ ):

$$\| -\chi z_a \| = \begin{vmatrix} \cos(-\chi) & -\sin(-\chi) & 0 \\ \sin(-\chi) & \cos(-\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(\chi) & \sin(\chi) & 0 \\ -\sin(\chi) & \cos(\chi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Тоді в (1, 2) в обмеженнях сектора захоплення слід використовувати координати у відповідній СК.

Розроблена модель координатних перетворень дозволяє здійснювати вирішення часткових завдань аналізу просторово-часових можливостей

ОІК з використанням значень параметрів у зручній системі координат. Кінцеві результати моделювання можуть представлятися в необхідній СК для їх подальшого аналізу.

### Модель радіоканалу та реєстрації даних

В рамках дослідження модель радіоканалу та реєстрації даних призначена для позначення наявності програми зйомки для заданого бортового інформаційного комплексу (БІК) (час початку та тривалість прийому програми зйомки, час включення-виключення знімальної апаратури, час початку та тривалість передачі спеціальної інформації), аналізу процесу заповнення та вивільнення пам'яті бортового запам'ятовуючого пристрою (БЗП), аналізу часових можливостей щодо спроможності реалізувати визначену програму зйомки та доставки спеціальної інформації. Запропонований підхід дозволяє реалізувати адаптивність управління ОІК, оскільки передбачає можливість зміни плану (програми) зйомки з урахуванням вже виконаних завдань. Для реалізації визначених завдань в дослідженні було розроблено логіко-математичну модель функціонування бортового запам'ятовуючого пристрою, приймальної та передавальної апаратури.

Командно-програмну інформацію обсягом  $V_{kpi}$  можна передати по радіоканалу із швидкістю  $v_{kpi}$  з урахування тривалості перехідних процесів  $t_{kpi}^{\leftrightarrow}$  за час

$$t_{kpi} = t_{kpi}^{\leftrightarrow} + \frac{V_{kpi}}{v_{kpi}}.$$

Матеріали космічної зйомки обсягом  $V_{bzp}$  передаються по радіоканалу із швидкістю  $v_{si}$  з урахування тривалості перехідних процесів  $t_{si}^{\leftrightarrow}$  за час

$$t_{si} = t_{si}^{\leftrightarrow} + \frac{V_{bzp}}{v_{si}}.$$

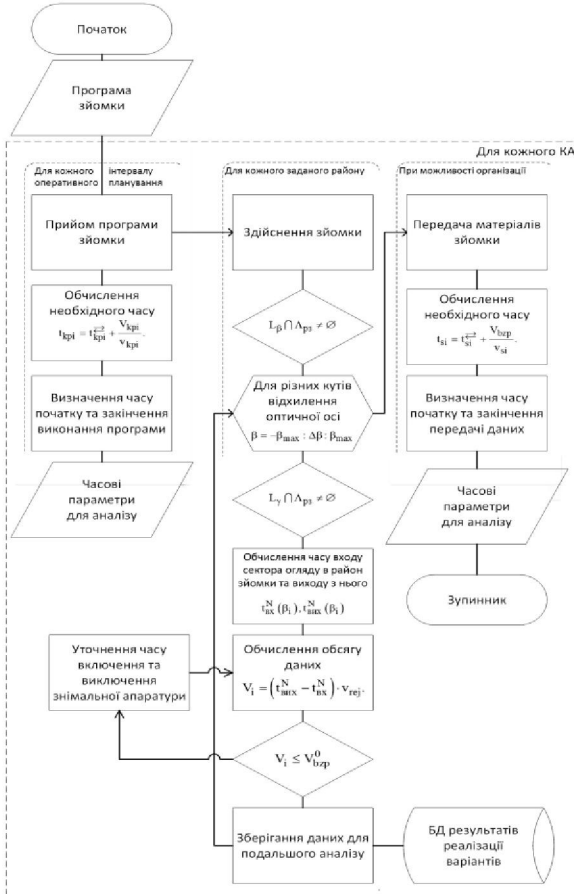
Час зйомки в режимі  $F_{rej}$  обмежується відношенням вільного обсягу БЗП  $V_{bzp}^0$  до інформаційної продуктивності каналу  $v_{rej}$  з урахування тривалості перехідних процесів  $t_{rej}^{\leftrightarrow}$ :

$$t_{rej} \leq t_{rej}^{\leftrightarrow} + \frac{V_{bzp}^0}{v_{rej}}.$$

Крім цього, в інформаційно-довідковій системі (ІДС) зберігаються відомості про сумісність режимів роботи, зокрема одночасної зйомки та передачі. Для уникнення необхідності введення до розгляду елементів наземного комплексу, до складу ІДС було введено додаткові ознаки (ідентифікатори) наземних засобів, з якими працює бортова апаратура з відповідними ознаками сумісності режимів роботи, які позначають можливість одночасного приймання

спеціальної інформації, закладання програми зйомки на борт для одного чи різних КА.

Логіка роботи моделі радіоканалу та реєстрації даних полягає у визначенні параметрів та визначенні можливостей з реалізації плану застосування ОІК. Логіко-математична модель радіоканалу та реєстрації даних представлена на рис. 5.



**Рис. 5. Логіко-математична модель радіоканалу та реєстрації даних**

Розроблена модель радіоканалу та реєстрації даних дозволяє досліджувати характер часових параметрів виконання завдань зйомки з урахуванням просторових можливостей ведення зйомки та обмежень запам'ятовуючого пристрою і темпу передачі матеріалів зйомки на наземні засоби. Також можна проводити аналіз завантаженості знімальної апаратури для угруповань з різними орбітальними параметрами та характеристиками апаратури.

**Інформаційно-довідкова система**

Інформаційно-довідкова система призначена для зберігання та надання значень параметрів і характеристик, що використовуються в часткових моделях, зберігання відомостей про належність різних типів знімальної апаратури до КА, режимів їх роботи, сумісність режимів роботи апаратури, а також орбітальних параметрів КА. Конкретні параметри та характеристики, що зберігаються в

ІДС, наведені в описі часткових моделей.

В рамках дослідження авторами статті було розроблено базу даних та інтерфейси взаємодії ІДС з програмними модулями, що реалізують часткові моделі. Для зберігання режимів роботи апаратури та їх сумісності було використано оригінальний підхід, який полягає у використанні двійкового коду. Тип апаратури та режими роботи записуються в ІДС в порядку їх появи при заповненні БД ІДС. Режим зйомки позначається номером із загального переліку режимів. Таблиця носіїв знімальної апаратури (космічних апаратів) утримує стовпець наявності апаратури. Одиниця двійкового коду в розряді, що відповідає даному типу апаратури, означає її наявність на даному КА. Таблиця типів апаратури утримує стовпець режимів роботи та стовпець сумісності режимів. Одиниця двійкового коду в розряді, що відповідає номеру режиму, відповідає наявності даного режиму в зразку. Сумісність режимів представляється вектором чисел в десятковому коді, двійковий відповідник якого позначає одиницями сумісні режими роботи. Розроблена структура ІДС розширює можливості щодо використання розробленої імітаційної моделі (ІМ) ОІК для дослідження застосування апаратури, яка має різні тактико-технічні характеристики (ТТХ) та встановлена на різних космічних апаратах.

Загальна схема імітаційної моделі орбітального інформаційного комплексу космічної системи ДЗЗ представлена на рис. 6.

Таким чином, в статті представлено результати розробки імітаційної моделі орбітального інформаційного комплексу космічної системи ДЗЗ, яка придатна для дослідження просторово-часових та інформаційних можливостей угруповань космічних апаратів. На відміну від існуючих, розроблена модель використовує формування зображення на основі визначення меж зони дії знімальної апаратури, що дозволяє адекватно враховувати зміну кута відхилення оптичної осі при обчисленні часових інтервалів потенційної зйомки заданих районів та визначенні координат перетину смуги огляду з районом зйомки. Такий підхід дозволяє проводити аналіз впливу рельєфу на просторово-часові та інформаційні можливості космічних систем ДЗЗ. Моделюючи об'єктову обстановку в районі зйомки та умови зйомки, розроблена імітаційна модель дозволяє здійснювати апріорну оцінку показників якості матеріалів космічної зйомки.

Враховуючи, що зйомку заданих районів можна здійснити при різних значеннях кута відхилення оптичної осі знімальної апаратури, напрямком подальших досліджень можна визначити розробку методів оптимізації плану зйомки за різними критеріями, відповідно до призначення та завдань застосування орбітального інформаційного комплексу космічної системи ДЗЗ.

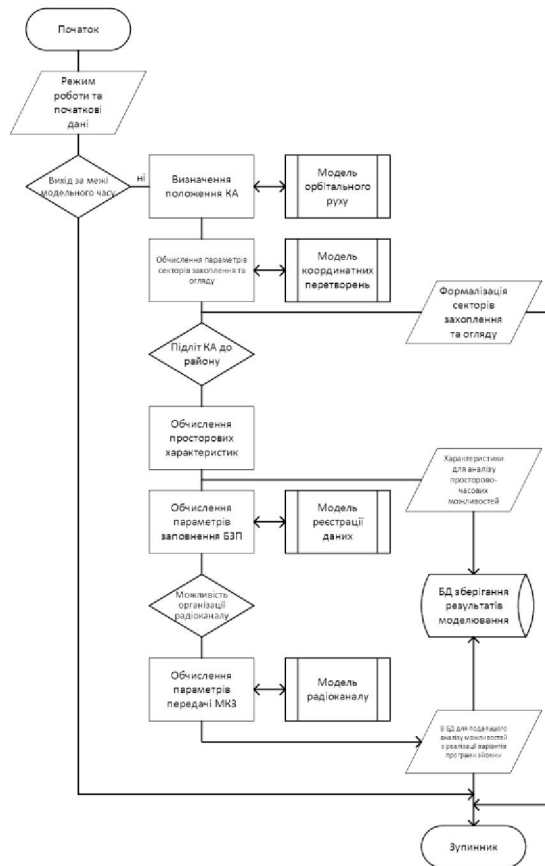


Рис. 6. Загальна схема імітаційної моделі орбітального інформаційного комплексу космічної системи ДЗЗ

### Література

1. Лебедев А.А. Космические системы наблюдения: Синтез и моделирование / А.А. Лебедев, О.П. Нестеренко. – М.: Машиностроение, 1991 – 224 с. 2. Имитационное моделирование гиперспектральных изображений земной поверхности: методика и результаты / [Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров и др.]. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Выпуск 5 - Том 1 (2008 г.). ИКИ РАН, с. 219-224 3. Денисов А.В. Виртуальный полигон для исследования систем дистанционного зондирования в реальных условиях эксплуатации. Специальность: 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2012, 24 с. 4. Управление угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования / [Аншаков Г.П., Горелов Ю.Н., Мантуров А.И., Усталов Ю. М.]. – Общерос. научно-техн. журнал «Полет» № 6, 2006 г., с. 12–18. 5. Дистанційне зондування землі з космосу. Терміни та визначення понять: ДСТУ 4220-2003 – [Чинний від 2003-09-15]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 22 с. –(Національні

стандарты України). 6. А.И.Назаренко. Погрешности прогнозирования движения спутников в гравитационном поле земли / Под ред. Р.Р. Назирова. Москва: Ротапринт ИКИ РАН, 2010. – 226 с. 7. В.А. Мамон. Баллистическое обеспечение полетов – Л.: ВИКУ им. Можайского. 1990. – 623 с. 8. Кудрявцев С.М. Высокоточные разложения важнейших функций небесной механики в аналитические ряды и их приложения. Специальность 01.03.01 Астрометрия и небесная механика Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Москва 2006, 16 с. 9. Ракушев М.Ю. Підходи до вдосконалення балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами. [Ракушев М.Ю., Завада А.А., Ковбасюк С.В.]. Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – № 55 (4). – С. 48 – 53. 10. Електронний ресурс. Реж. доступу: <http://www.celestrak.com> 11. Felix R. Hoots, Ronald L. Roehrich. Spacetrack report No. 3. Models for Propagation of NORAD Element Sets. 1980. – 88 p. 12. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. М. Мир 1982 г. 304 с.

В статье представлены результаты разработки имитационной модели орбитального информационного комплекса космических систем дистанционного зондирования Земли. Результаты могут быть использованы при исследовании пространственно-временных и информационных возможностей рассмотренного класса систем.

Ключевые слова: имитационное моделирование, космическая система дистанционного зондирования Земли.

Presents the results of a simulation model of the orbital space complex information systems for remote sensing. The results can be used to study the space-time information capabilities and the classes of systems.

Key words: simulation, space system for Earth remote sensing.