

пріоритетного визначення гравців з протилежними цілями (загрозливий напад – безпечний гарантований ухід), які дозволяють покровоко й почерзі обирати власні керування (акти дії, стратегії) згідно принципу мінімакса. Витрати TESIMFO ресурсів ПЕВО мінімізуємо з одночасним врахуванням максимальних значень реально можливих форм впливу протилежної (фактори ЗНОС) сторони для кожної конкретної природної ситуації.

3. Сутність кожної моделі граф-решітки полягає у: повному покритті зони моделювання ПЧК; дискретизації за критеріями точності й обчислювальної ефективності кожної локальної частки цього простору; означенні особливостей формування ваги ребер (гілок переходу з попереднього у наступний стан); спеціалізації розміток граф-решітки, включаючи випадки відключення (блокування) гілок внаслідок отримання сигналів від функцій заборони на реалізацію даного акту дії.

4. Відповідно до кожного класу

диференціальної гри особливо для нелінійних антагоністичних ігор потрібно зробити верифікацію формул розрахунку ваги (горизонтальних, вертикальних, діагональних) ребер графа-решітки та логічних функцій заборони відповідно до задачних вимог ПЕВО. Нелінійну диференціальну гру треба моделювати не менш ніж два рази з оцінюванням мінімаксного і максимінного значень функціоналів сутності означеної формальної гри.

5. Паралельно моделювання диференціальних ігор  $N$  - гравців (реально обмеженої конструктивної кількості) на всіх  $N$  графах особистих та спеціалізованих решітках дозволяє використовувати один конструктивно базовий обчислювач для отримання на кожній решітці найкоротшого шляху за час ситуативно послідовного (почергового) формування міток конфігурації траєкторії гри, що шукаємо за всіма інтегрованими критеріями.

### Список літератури:

1. Баранов Г.Л. Активне визначення безпечно-гарантованої траєкторії шляхом структурного моделювання диференціально-ігрових задач в системах навігації і управління об'єктів водного транспорту./ Г.Л. Баранов, В.І. Тарасюк, С.П. Васько / Системи управління, навігації і зв'язку. – К.: ЦНДІ Н: У, 2011- Вип.2 (18) – С.2-7.
2. Баранов Г. Л. Формування основ метризації ресурсних знань поліергатичних технологій / Г.Л. Баранов, О.М. Прохоренко //розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадського суспільства та становлення економіки знань: матеріали МН-ПК, 29-30 вересня 2017 рік м. Київ – к.: Ін-т обдарованої дитини НАПН України, 2017 – с. 26-32.
3. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А.В.Макаров.-К.: Наук.Думка, 1986.-272с.
4. Баранов Г.Л. Структурное моделирование динамических и дифференциально игровых систем/ Г.Л. Баранов, В.Л. Баранов/ Препринт – 485, Киев, АН УССР. Институт электродинамики. – К., 1987.-55 с.
5. Баранов Г.Л. Структурное моделирование дифференциально- игровых систем и объектов/ Г.Л. Баранов, В.Л. Баранов/ Препринт-600, Киев, АН УССР. Институт электродинамики.- К, 1989.- 48 с.
6. Кабінет Міністрів України “Про схвалення концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 р.” Від 30 березня 2011 р., №238/р.
7. Даламбер Ж. Динамика/ Ж. Даламбер, - М.-Л. Госиздат, 1950.- 360 с.
8. Лангранж Ж. Аналитическая механика/ Ж. Лангранж.- Изд 2-е.- М.-1950. - Т1 - 640с.
9. Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий обладающих свойствами максимума либо минимума и решение изопериметрической задачи/ Л. Эйлер.- М. Гостехиздат. 1934.- 540с.
10. Павловский М.А. Теоретична механіка/М.А.Павловський.-К.: Техніка. 2002. – 512 с.
11. Ракушев М.Ю. Прогнозування руху космічних апаратів на основі диференціально-теїлорівських перетворень:Монографія/М.Ю. Ракушев.-Ж: Видавець О.О.Євенок.2015. – 324 с.
12. Аїзекс Р. Дифференциальные игры/ Р.Аїзекс.-М.: Мир.1967.-480 с.
13. Васильев В.В. Моделирование задач оптимизации и дифференциальных игр/ В.В. Васильев, В.Л. Баранов.- К.: Наукова думка. 1989.- 286 с.
14. Нагорний Л.Я. Розпаралелювання рішень систем рівнянь великої розмірності/ Л.Я. Нагорний, І.А. Жуков/ Вісник КМУЦА.- К.: КМУЦА.- 1998.-№1.- с. 236-240.
15. Організація балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами: Підручник/ О.Б. Захаров, В.О. Гуменюк, Р.М. Залужений та ін.; Під заг.ред. М.С. Сівова/ К.: НАОУ, - 2007.- 508 с.
16. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах [монографія]/ Г.С. Прокудін.- К.: НТУ, 2006.-224 с.
17. Баранов Г.Л. Комплексна інтеграція інформаційних процесів інтелектуальних транспортних систем для якісного гарантування безпечного руху у нестационарному середовищі/ Г.Л. Баранов, І.В.Тихонов, Р.А. Габрук, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренко/ Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. НТЖНТУ. К.:НТУ. 2015. Вип. 3.- с. 85-95.
18. Система диспетчерського управління рухомими об'єктами з використанням сигналів глобальної супутникової системи радіонавігації/ Г.Л. Баранов, Л.С.Беляєвський, М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, П.Р. Левковець, Є.О. Топольськов та ін./ ПАТЕНТ на винахід UA№75709. С.2. МПК (2006), GOIS 5/14

### References:

1. Baranov, G.L. Actively viznachennya carelessly-guaranteed traektorii with the hat of the structural modeling of differentiating and solving tasks in the systems for navigating and managing water transport. / G.L. Baranov, V.I. Tarasyuk, S.P. Vasko / Sistemi manages, navigating and zv'yazku. - K.: ЦНДІ Н: У, 2011-Вип.2(18)-С.2-7.

2. Baranov, G. L. *The form of the foundations of metrizations of resources known to poliergetic technologies* / G.L. Baranov, O.M. Prokhorenko // *розбудова економічної освіти та формування базисів фінансової грамотності іншівської молоді - the basis of the development of the huge estate and the economy of the country: Materiali MN-PK, 29-30 весня 2017 рік м. Kiev - к .: Ін-т обдарованої дитини НАПН України, 2017 - from. 26-32.*
3. Baranov G.L. *Structural modeling of complex dynamical systems* / GL Baranov, AV Makarov.-К .: Nauk.Dumka, 1986.-272 p.
4. Baranov G.L. *Structural modeling of dynamic and differentially gaming systems* / G.L. Baranov, V.L. Baranov / *Preprint - 485, Kiev, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Institute of Electrodynamics. - К., 1987.-55 p.*
5. Baranov G.L. *Structural modeling of differential-game systems and objects* / G.L. Baranov, V.L. Baranov / *Preprint-600, Kiev, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Institute of Electrodynamics.-К, 1989.- 48 pp.*
6. Кабінет Міністрів України "About grasp of the concept of realizing the state of the art in the sphere of cosmic diodes for the period up to 2032." *On the 30th of the 2011 birch 2011, No. 238 / r.*
7. D'Alembert J. *Dynamics* / J. d'Alembert, M.-L. State Publishing House, 1950.-360p.
8. Langrange, J. *Analytical Mechanics*, J. Langrange, Second ed., M.-1950. - T1 - 640s.
9. E. Jailler. *A method for finding curve curves possessing the properties of a maximum or a minimum and solving the isoperimetric problem* / L. Euler, M. Gostekhizdat. 1934.- 540s.
10. MA Pavlovsky *Theoretical mechanics* / MA Pavlovsky.-К .: Техніка. 2002 - 512p.
11. Rakushev M.Yu. *Prediction of the Rukh Cosmic Apparations on the Basis of Differential-Taylorian Movements: Monograph* / M.Yu. Rakushev.-Z: Vidavets OO.venenok. - 324 sec.
12. Isaacs R. *Differential games* / R.Aizseks.-M .: Mir.1967.-480 p.
13. Vasilyev V.V. *Modeling optimization problems and differential games*. Vasiliev, V.L. Baranov.- К .: Naukova Dumka. 1989.-286 p.
14. Nagorniy L.Ya. *Розпаралелювання рішень систем рівнянь великої розмірності* / L.Ya. Nagorniy, I.A. Жуков / *Вісник КМУЦА.- К .: КМУЦА.- 1998.-№1.- с. 236-240.*
15. *Organizing a ballistic-navigational management of space vehicles: Pidruchnik* / O.B. Zakharov, V.O. Gumenyuk, R.M. Zaluzhenii ta ne; .; Під заг.ред. M.S. Sivova / К .: NAOU, - 2007.- 508 p.
16. Prokudin G.S. *Models and methods of optimization of transport in transport systems [monograph / GS]. Prokudin-K .: NTU, 2006.-224 p.*
17. Baranov, G.L. *Integrated integration of information processing in telecommunication transport systems for the safe guarantee of a non-smoking rush in a non-stationary medium* / G.L. Baranov, I.V. Tikhonov, R.A. Gabrouk, V.R. Kosenko, O.M. Prokhorenko / *Informational processes, technology and transport systems. NTZHNTU. К.: NTU. 2015. Vip. 3.- p. 85-95.*
18. *The system of dispatching control of the objects by means of the signals to the global satellite system of radiosavigation* / G.L. Baranov, L. S. Belyaevsky, M.F. Dmitrichenko, M.M. Dmitriev, P.R. Levkovets, Є.O. Topols'kov ta in. / *PATENT on the wines UA №75709. C.2. IPC (2006), GOIS 5 /14*

## КОНСТРУКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПАРАДИГМОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ИГРЫ

Баранов Г.Л., Прохоренко А.Н.

Разработана методика комплексного структурного моделирования сложной динамической системы гарантированно адаптивного управления объектов авиационно-космических технологий в условиях риска и неопределенности факторов воздействия природного внешней среды. Приведенно структурно функциональное обеспечения компьютерных средств для решения дифференциально - игровых задач N-игроков. Определены условия безопасно-гарантированных траекторий движения мобильных объектов с учетом одновременно совместного нелинейного действия N-игроков.

**Ключевые слова:** безопасная траектория движения МТЗ, дифференциально-игровая аппроксимация, без коалиционные решения, изменения ситуаций, поочередное управления, ресурсы АКТ.

## CONSTRUCTIVE MODELING OF OBJECTS OF AVIATION-SPACE TECHNOLOGY WITH PARADIGM OF A DIFFERENTIAL GAME

G. L. Baranov, O.M. Prokhorenko

The complex dynamical system structural modeling methodology was developed for aviation-space technology in the risk conditions and natural environment under uncertain influence factors of environment. The structurally functional computer means provided for N-players differential-game solving problems is given. The mobile object movements' safe-guaranteed trajectories conditions are determined, taking into account simultaneously the common non-linear action of N-players.

**Keywords:** safe trajectory of MTZ movement, differential-game approximation, no coalition decisions, situation change, alternate management, ACT resources.

УДК: 004.9

Кавац В.В., Капустін Є.І., Кирилов О.І., Кирилова Н.А.

"Дніпрокосмос" філія Національного центру управління та випробувань космічних засобів,  
м. Дніпро, Україна

## СПОСІБ ЗАВДАННЯ ЗЙОМКИ РАЙОНІВ, ЯКІ МАЮТЬ ВЕЛИКУ ПРОТЯЖНІСТЬ ТА АЛГОРИТМ ПЛАНУВАННЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

*Досвід експлуатації космічної системи "Січ-2" показав, що спосіб завдання районів моніторингу координатами лівого верхнього та правого нижнього кутів прямокутника при плануванні зйомок довільно орієнтованих протяжних ділянок поверхні Землі, або великих площин зі складним абрисом межі, приводило до значних часових витрат на проведення зйомки (неоптимальне використання ресурсу приладів корисного навантаження супутника) і зйомці зайвих територій. В статті пропонується спосіб завдання зйомки довільно орієнтованих протяжних ділянок поверхні Землі "ламанною" лінією і алгоритми планування реалізації цих зйомок програмним забезпеченням Центру управління польотом (ЦУП) супутника. Оцінка ефективності застосування запропонованих алгоритмів здійснена з застосуванням доопрацьованого програмного забезпечення планування роботи корисного навантаження супутника "Січ-2".*

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, космічна система, прилади корисного навантаження супутника, район моніторингу поверхні Землі, Центр управління польотом супутника, програмне забезпечення, смуга захоплення приладу, заявка на зйомку.

**Вступ.** Цільовим призначенням космічної системи (КС) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є отримання і надання споживачам космічних зображень (даних ДЗЗ) для подальшого їх застосування у різних сферах господарської та наукової діяльності держави [1].

Завдання космічного моніторингу поверхні Землі, які ставляться перед конкретною КС ДЗЗ (моніторинг агропромислового комплексу, лісного господарства, басейну річок, тощо) в значній мірі визначаються технічними характеристиками приладів корисного навантаження (ширина смуги захоплення при зйомці, просторове розрізнення, спектральні канали зйомки, тощо) і бортових систем супутника (енергозабезпечення, кути та час розворотів супутника, параметри стабілізації супутника при зйомці, похибки визначення початкових умов руху супутника, тощо).

**Завдання.** Для виконання завдань космічного моніторингу, які ставляться перед КС ДЗЗ, повинна бути визначена стратегія виконання зйомок, яка складається зі способів завдання районів зйомки та алгоритмів планування реалізації цих зйомок.

Досвід експлуатації космічної системи "Січ-2" показав, що спосіб завдання районів моніторингу прямокутником (координати лівого верхнього та правого нижнього кута прямокутника) при плануванні зйомок об'єктів, які мають велику протяжність під значним кутом до траси підсупутникової точки (наприклад: берегова лінія морського узбережжя, басейни річок, тощо), або велику площину зі складним абрисом межі, приводило до значних часових витрат на проведення зйомки (неоптимальне використання ресурсу приладів корисного навантаження супутника) і зйомці зайвих територій. Наприклад, процент площини району зйомки у прямокутнику, яким були задані координати цього району, складав: Дніпропетровська область - 57%, басейн річки Арканзас (приток Міссісіпі) - менш 1%, затока

у Херсонській області, при впадінні у Чорне море річок Південний Буг та Дніпро – 36% [1, с.7]. В зарубіжних космічних системах ДЗЗ високої розподільної здатності (супутники "Ikonos", "QuickBird", "EROS" та інші) зйомка довільно орієнтованих прямолінійних протяжних ділянок поверхні Землі здійснюється шляхом перенацілювання супутника в процесі зйомки. Для підвищення чутливості знімальної апаратури цих супутників застосовується режим зйомки з накопиченням, що дозволяє збільшити час експозиції строки за рахунок зниження швидкості переміщення проекції строки фотоприймача по поверхні Землі шляхом перенацілювання супутника під час зйомки. Супутники, що реалізують режим зйомки з накопиченням ("QuickBird", "Orbview" та інші), також дозволяють отримати знімки з заданою орієнтацією сцени в напрямку північ-південь, або захід-схід (рис. 1).

Якщо зйомку робити в процесі перенацілювання супутника (з ненульовими кутівими швидкостями орієнтації), то можливо обрати оптимальний напрямок сканування і знімати довільно розташовані протяжні ділянки поверхні Землі за один виток (рис. 2, 3, 4).

Режим зйомки з накопиченням висуває відповідні вимоги, як до супутника в частині забезпечення необхідної переорієнтації КА в процесі зйомки, так і до програмного забезпечення планування зйомки, управління супутником та оброблення знімків.

**Основний матеріал статті.** Враховуючі, що бортові системи українських супутників ДЗЗ серії "Січ", що розроблюються у теперішній час, не реалізують наведені вище режими зарубіжних супутників, в цій статті пропонується розглянути спосіб завдання зйомки довільно орієнтованих протяжних ділянок поверхні Землі "ламанною" лінією і алгоритм планування реалізації цих зйомок програмним забезпеченням планування роботи корисного навантаження супутника.



Рис. 1. Зйомка з заданою орієнтацією сцени



Рис. 2. Об'єкт зйомки

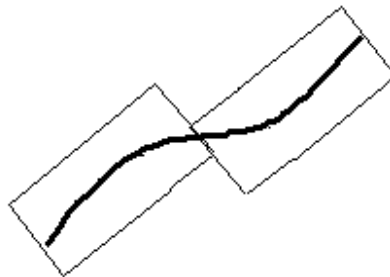


Рис. 3. Зйомка на двох витках

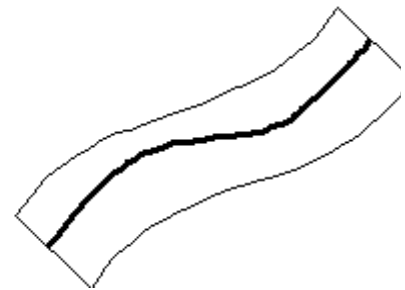


Рис.4. Зйомка на одному витку

В основу побудови алгоритму покладено розбиття району зйомки, заданого "ламаною лінією", на точки, які є центрами елементарних прямокутників [2] з довжиною сторони, яка не повинна перевищувати: відстань, яку пролітає супутник за одну секунду, ширину смуги захоплення сканера, ширину кроку перенацілювання сканера при плануванні зйомки та довжину сторін екстену району зйомки.

Заявка у виді "ламана лінія" для об'єктів невеликої ширини і тривалої протяжності зі зміною напрямку його розташування задається багатомірним масивом координат точок, які є вершинами ламаної.

У таблиці 1 наведений фрагмент масиву координат опису об'єкту зйомки (річка Конго) заданого у вигляді "ламаної" лінії (рис. 5).

В заявці на зйомку, крім масиву координат опису району зйомки, обов'язково задаються наступні параметри [3]:

- період спостереження;
- апаратура зйомки;
- умови зйомки (мінімальний кут місця Сонця, розрізненість або максимальний кут відхилення супутника під час зйомки від надиру, тощо);
- найменування району зйомки;
- відсоток покриття району для реалізації заявки. Сформована Оператором космічної системи заявка на зйомку у вигляді \*.xml – файлу передається до Центру управління польотом (ЦУП) супутником.

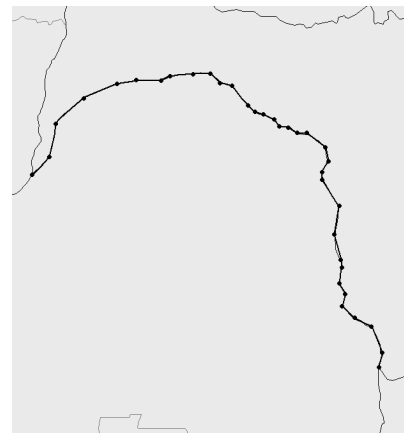


Рис. 5. Об'єкт зйомки (річка Конго), заданий у вигляді "ламаної" лінії

Оброблення наданої до ЦУП заявки на зйомку здійснюється програмним забезпеченням планування роботи корисного навантаження супутника в наступній послідовності:

- введення заявки на зйомку до Баз даних (БД) ЦУП;
- "розбивка" району зйомки, визначення координат точок "розбивки" та підрахунок його площі;
- планування району зйомки виходячи з параметрів, що задані у заявці (мінімальний кут місця Сонця, розрізненість або максимальний кут відхилення супутника під час зйомки від надиру, відсоток покриття району для реалізації).

Таблиця 1  
Фрагмент масиву координат опису об'єкту зйомки у вигляді "ламаної" лінії

Довгота	Широта
26.9111	-5.6699
27.0306	-5.2841
26.7550	-4.5767
26.2773	-4.3562
25.9741	-4.0255
26.0568	-3.6948
25.8914	-3.4284
25.9466	-2.8404
25.7536	-2.1147
25.8639	-1.3614
25.4229	-0.6540
25.4137	-0.4427
25.5883	-0.1396
25.5332	0.2187
25.0371	0.5861
24.7615	0.5770
24.5410	0.7515
24.3205	0.7515
24.1368	0.9628
23.8704	1.0914
23.6223	1.1557
23.3100	1.4956
23.0344	1.8631
22.7129	1.9458
22.4740	2.1754
22.2076	2.2030
21.5921	2.1479
21.3165	2.0927
...	...

"Розбивка" на точки здійснюється на кожній ланці "ламаної" лінії (рис. 6). Координати точок "розбивки" ( $L_n, \varphi_n$ ) визначаються за формулами [1]:

$$L_n = \begin{cases} L_b + step\_deg\_onLat * \cos \alpha, & \text{якщо } L_b \leq L_n \\ L_b - step\_deg\_onLat * \cos \alpha, & \text{якщо } L_b > L_n \end{cases} \quad (1)$$

$$L_n = \begin{cases} \varphi_b + step\_deg\_onLong * \sin \alpha, & \text{якщо } \varphi_b \leq \varphi_n \\ \varphi_b - step\_deg\_onLong * \sin \alpha, & \text{якщо } \varphi_b > \varphi_n \end{cases} \quad (2)$$

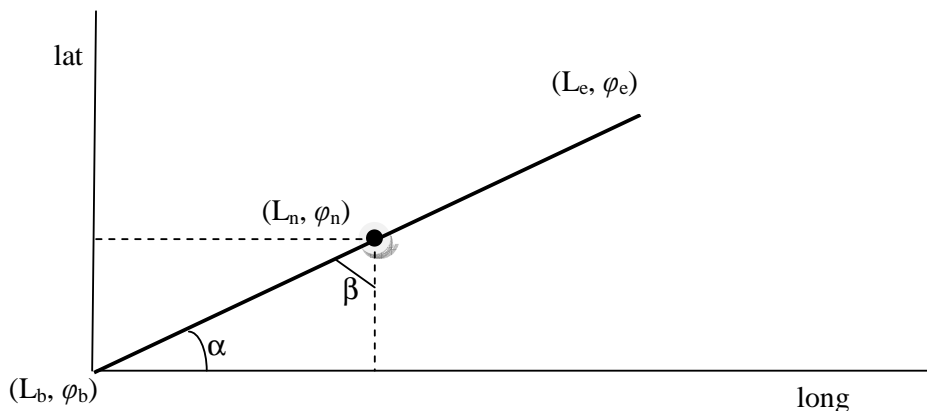


Рис. 6. "Розбивка" на точки однієї ланки заявки на зйомку у вигляді "ламаної" лінії

де  $L_n, \varphi_n$  – відповідно довгота та широта вузла ламаної лінії або попередньо розрахованої точки;  $step\_deg\_onLat$  – крок "розбивки" в градусах на широті розраховується за формулою:

$$step\_deg\_onLong = \frac{step\_km}{2} * \pi * R * \frac{\cos(\varphi_n)}{360} \quad (3)$$

де  $R$  – радіус Землі;  $step\_deg\_onLong$  – крок "розбивки" в градусах на довготі розраховується за формулою:

$$step\_deg\_onLong = \frac{step\_km}{NumberKM} \quad (4)$$

де  $NumberKM$  - кількість км в 1 град. по меридіану;  $step\_km$  - крок в кілометрах (виходячи зі смуги захоплення) розраховується за формулою:

$$\alpha = arctg(\varphi_e - \varphi_b) * \left( 2\pi * R * \frac{\cos(\varphi_b)}{360} \right) \quad (6)$$

Площа району спостереження – це кількість точок "розбивки" району зйомки.

При плануванні зйомки:

1) на першому етапі визначається попадання точок "розбивки" у смугу захоплення виходячи з наданих у заявці параметрів; точка "розбивки", що попала у смугу захоплення та запланована к зйомці вважається відзнятою;

2) на другому, та усіх наступних етапах розраховується попадання точок "розбивки" у смугу захоплення виходячи з коефіцієнта новизни району зйомки та наданих у заявці параметрів [4]. Планування району зйомки виконується доки не буде знято вказаний в заявці відсоток покриття району зйомки.

Перевірка ефективності запропонованого способу завдання району спостереження і алгоритмів планування здійснення зйомки, була проведена програмним комплексом "Спеціальне програмне забезпечення. Підсистема планування роботи корисного навантаження КА" (СПЗ ППКН) 25527406.00083-01, який використовувався при експлуатації КА "Січ-2" (далі по тексту – діючим комплексом) і його доопрацьованою версією.

Планування роботи проводилось на місячному інтервалі (період дії заявки 01.10 – 31.10) з використанням балістичної інформації, яка була розрахована та занесена в БД ЦУП КА "Січ-2" у період його експлуатації.

Заявки, які були занесені в БД відрізнялись тільки

способом завдання району зйомки [5].

Для діючого комплексу в заявках район спостереження заданий у вигляді координат лівого верхнього і правого нижнього кутів прямокутника (рис. 7, 9), для доопрацьованого – у вигляді "ламаної" лінії (рис. 8, 10). Результати планування зйомки наведені у таблиці 2.

Наведені у Таблиці 2 данні свідчать, що при проведенні зйомки довільно орієнтованих протяжних ділянок поверхні Землі, які задані "ламанною" лінією мінімізуються витрати ресурсу приладів корисного навантаження і службових систем супутника, що дозволяє значно підвищити ефективність застосування космічної системи ДЗЗ за її цільовим призначенням.

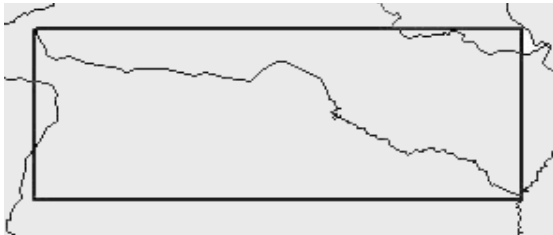


Рис. 7. Завдання району зйомки (річка Арканзас) у вигляді прямокутника

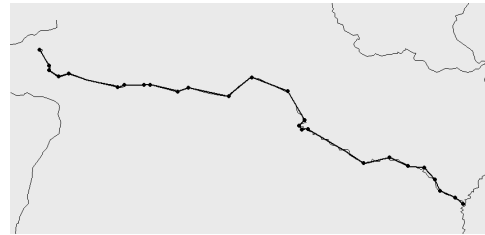


Рис. 8. Завдання району зйомки (річка Арканзас) у вигляді "ламаної" лінії

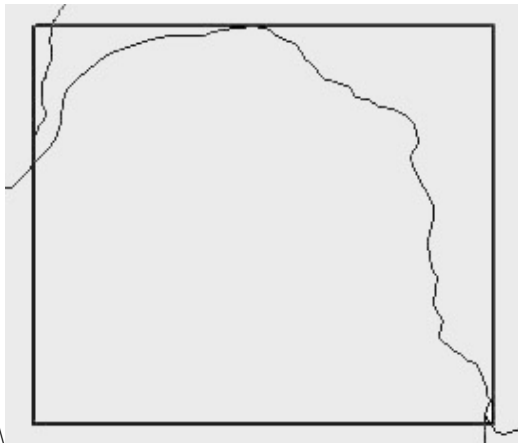


Рис. 9. Завдання району зйомки (річка Конго) у вигляді прямокутника

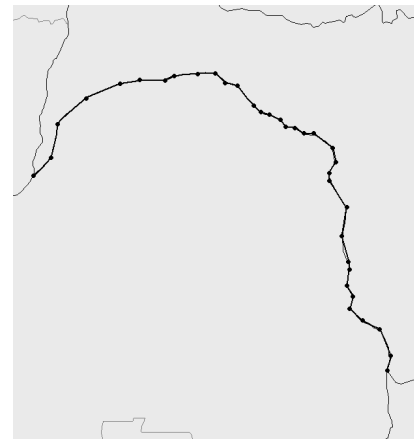


Рис. 10. Завдання району зйомки (річка Конго) у вигляді "ламаної" лінії

Таблиця 2

Результати планування зйомки заявок, що задані координатами прямокутника та "ламанною" лінією

Найменування району зйомки (спосіб завдання району зйомки)	Кількість зйомок	Загальна тривалість зйомки, сек.	Потрібний об'єм пам'яті, Гігабайт	Загальна тривалість скидання даних, сек.	Відсоток виконання	Примітка
Річка Арканзас (прямокутник)	29	1208	19.24	5389	45,6	Планування діючим комплексом
Річка Арканзас ("ламана" лінія)	27	143	4.82	1353	94,17	Планування доопрацьованим комплексом
Річка Конго (прямокутник)	25	1019	16.34	4579	38,34	Планування діючим комплексом
Річка Конго ("ламана" лінія)	21	198	5.12	1444	91,32	Планування доопрацьованим комплексом

**Висновки.** Запропонований у цій статті спосіб завдання зйомки протяжних ділянок поверхні Землі "ламанюю" лінією і алгоритми планування реалізації цих зйомок доцільно використати у складі програмного забезпечення ЦУП супутника

"Січ-2-1". Одночасно слід розглянути можливість розповсюдження запропонованих алгоритмів для планування зйомки об'єктів зі складним абрисом межі.

#### **Список літератури:**

1. Розроблення алгоритмів планування зйомки районів, координати яких задаються точкою, ламаною лінією або багатокутником. Звіт про НДР АУАШ.81.0024.059 ОТ. Дніпропетровська філія НЦУВКЗ "Дніпрокосмос". № держреєстрації в УкрІНТЕІ 01161U006327. 2016. – 59 с.

2. Волошин В.И., Капустин Е.И., Кириллов А.И., Кириллова Н.А. Засуха С.О.: Принципы построения алгоритмов планирования работы полезной нагрузки КА высокого разрешения для съемки районов поверхности Земли большой площади / Дистанційне зондування Землі. Інформаційні технології збирання та використання даних аерокосмічного спостереження Землі: Збірник наукових статей державного підприємства "Дніпрокосмос". Випуск 1. – Д.; Проспект, 2007 – С. 61 – 63.

3. Волошин В.И., Капустин Е.И., Кириллов А.И., Кириллова Н.А., Засуха С. О.: Информационные технологии в управлении работой полезной нагрузки космических аппаратов по дистанционному зондированию Земли / Нац. акад. наук Украины, Национальное космическое агентство Украины, Ин-т космических исследований НАНУ и НКАУ. Четвертая Украинская конференция по космическим исследованиям , 19-26 сентября 2004 г., Крым, Понизовка: Сб. тезисов, 2004 – С. 142.

4. Кириллов А.И., Кириллова Н.А., Махонин Е.И. Формирование и отображение планов работы полезной нагрузки космических аппаратов и полученных данных дистанционного зондирования Земли с применением программных пакетов ГИС-технологий / Нац. акад. наук Украины, Национальное космическое агентство Украины, Ин-т космических исследований НАНУ и НКАУ. Четвертая Украинская конференция по космическим исследованиям , 19-26 сентября 2004 г., Крым, Понизовка: Сб. тезисов, 2004 – С. 173.

5. Кольхалов М.С., Капустин Е.И., Кириллов А.И. Применение ГИС-пакета Mapobjects в программном комплексе планирования полезной нагрузки КА /Международная научно-практическая конференция "Университетские микроспутники – перспективы и реальность". Сборник тезисов. 19-23 июня 2006 г., НЦУИКС, Евпатория. Днепропетровск, НЦАОМУ. – С. 151.

#### **References:**

1. Rozroblyannya algoritmiv planuvannya zjomki rajoniv, koordinati yakih zadayutcaj tochkoyu, lamanoyu linieyu abo bogatokutnikom. Zvit pro NDR AUASH.81.0024.059 OT. Dnipropetrovska filiya NTSUVKZ "Dniprokosmos". № dergreestracii v UkrINTEI 01161U006327. 2016. – 59 s.

2. Voloshin V.I., Kapustin E.I., Kirillov A.I., Kirillova N.A. Zasuha S.O.: Printsipi postroeniya algoritmov planirovaniya raboti poleznoj nagruzki KA visokogo razresheniya dlya cjomki rajonov poverhnosti Zemli bolshoj ploshchadi / Distsantsijne zonduvannya Zemli. Inaormatsijni tehnologiyi zbirannya ta vikoristannya danih aerokosmichnogo cposterezheniya Zemli: Zbirnik naukovih cnfnej derzhavnogo pidpriemstva "Dniprokosmos". Vipusk 1. – D.; Prospekt, 2007 – S. 61 – 63.

3. Voloshin V.I., Kapustin E.I., Kirillov A.I., Kirillova N.A., Zasuha S.O.: Informatsionnie tehnologii v upravlenii rabotoj poleznoj nagruzki kosmicheskikh apparatov po distantsionnomu zondirovaniyu Zemli / Nats. akad. nauk Ukraini, Natsionalnoe kosmicheskoe agentstvo Ukraini, In-t kosmicheskikh issledovanij NANU I NKAU. Chetvertaya Ukrainskaya konferentsiya po kosmicheskim issledovaniyam , 19-26 sentyabrya 2004 g., Krim, Ponizovra: Sb. tezisov, 2004 – S. 142.

4. Kirillov A.I., Kirillova N.A., Mahonin E.I. Formirovanie I otobrazhenie planov rabots poleznoj nagruzki kosmicheskikh apparatov s polucheniyem dannih distantsionnogo zondirovaniyu Zemli s primeneniem programmniy paketov GIS-tehnologiy / Nats. akad. nauk Ukraini, Natsionalnoe kosmicheskoe agentstvo Ukraini, In-t kosmicheskikh issledovanij NANU I NKAU. Chetvertaya Ukrainskaya konferentsiya po kosmicheskim issledovaniyam , 19-26 sentyabrya 2004 g., Krim, Ponizovra: Sb. tezisov, 2004 – S. 173.

5. Kolihalov M.S., Kapustin E.I., Kirillov A.I. Primenenie GIS-paketa Mapobjects v programmnom komplekse planirovaniya poleznoj nagruzki KA / Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya "Universitetskie mikrosputniki – perspektivi s realnost". Sbornik tezisov 19-23 iunyua 2006 g., NTSUKS, Evpatoriya. Dnepropetrovsk, NTSAOOME. – S. 151.

## **СПОСОБ ЗАДАНИЯ СЪЕМКИ РАЙОНОВ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ БОЛЬШУЮ ПРОТЯЖЕННОСТЬ И АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

Кавац В.В., Капустин Е.И., Кириллов А.И., Кириллова Н.А.

Опыт эксплуатации космической системы "Січ-2" показал, что задание района мониторинга координатами левого верхнего и правого нижнего углов прямоугольника при планировании съемок произвольно ориентированных протяженных участков поверхности Земли или больших площадей со сложным абрисом границы, приводило к значительным временным затратам на проведение съемок (неоптимальное использование ресурса приборов полезной нагрузки спутника) и к съемке лишних территорий. В статье предлагается способ задания съемки произвольно ориентированных протяженных участков поверхности Земли "ломаной" линией и алгоритм планирования реализации этих съемок программным обеспечением Центра управления полетом (ЦУП) спутника. Оценка эффективности применения предложенных алгоритмов выполнена с применением доработанного программного обеспечением планирования работы полезной нагрузки спутника "Січ-2".

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, космическая система, приборы полезной нагрузки спутника, район мониторинга поверхности Земли, Центр управления полетом спутника, программное обеспечение, полоса захвата прибора, заявка на съемку.

## THE WAY TO SPECIFY THE IMAGING OF AREAS THAT HAVE A LARGE EXTENT AND THE AN ALGORITHM FOR PLANNING ITS EXECUTION

V. Kavats, E. Kapustin, A. Kyrylov, N. Kyrylova

Experience of exploitation of the space system "Sich-2" demonstrated that the task of monitoring areas by coordinates upper-left and lower-right-hand corners of rectangle at planning of imaging of the arbitrarily oriented extensive areas of the Earth's surface or large areas with the complicated contour of border, resulted in considerable temporal expenses on realization of imaging (not optimal resource use of the satellites' payload instrumentation) and to the imaging of superfluous territories. In this article the way to specify the imaging of the arbitrarily oriented extensive areas of terrain is offered by a "polyline" and software algorithm scheduling realization of these imaging sessions in the Mission Control Center (MCC). Estimation of the effectiveness of the application of the proposed algorithms was carried out using the update "Sich-2" satellite payload scheduling program

**Keywords:** remote sensing of Earth, space system, satellite payload devices, terrain monitoring areas, Mission Control Center (MCC), software, acquisition bandwidth, request of imaging.



УДК: 681.326

Тупкало В.М.

Національний центр управління та випробувань космічних засобів, м. Київ

## МЕТОД СИГНАТУРНОГО ОПЕРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЦИФРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Предметом дослідження є забезпечення надійності функціонування цифрових інформаційних систем широкого спектру цільового призначення у реальному масштабі часу на основі введення структурної надмірності. Метою проведеного дослідження є розробка методу синтезу структурної надмірності. Результатом роботи є створений математичний апарат сигнатурної алгебри. Цей апарат дозволяє зводити рішення задачі синтезу підсистеми контролю функціонування цифрових інформаційних систем у реальному масштабі часу до простої процедури композиції функціонально закінчених елементарних комбінаційних вузлів з кінцевого універсального набору. Один з можливих напрямків використання результатів дослідження може бути пов'язаним з вирішенням проблеми забезпечення надійності авіаційно-космічних тренажерів.*

**Ключові слова:** цифрові інформаційні системи, сигнатурний контроль, математичний апарат сигнатурної алгебри, метод синтезу структурної надмірності, надійність авіаційно-космічних тренажерів.

**Вступ.** Рішення задач вдосконалення існуючих і створення нових авіаційно-космічних тренажерів вимагає нового якісного забезпечення ефективної контролепридатності їх апаратно-програмних засобів на всіх етапах життєвого циклу.

Аналіз відомих публікацій зі створення відмовостійких керуючих систем [1-4] показав, що найбільш досліджуваними є тестові методи забезпечення контролепридатності, що реалізують ідею «розкладання» апаратури цифрових систем (ЦС) на ряд незалежно діагностованих пристроїв невеликої складності та розміщення в них додаткових апаратних засобів. Але, що стосується методів забезпечення контролепридатності ЦС в реальному масштабі часу (в ході виконання цільових завдань управління), то незважаючи на їх актуальність, вони залишаються практично недослідженими. Основною причиною цього є недостатній розвиток теорії контролю цифрових автоматів. Крім того, сьогодні ще більш актуально постає задача забезпечення контролепридатності ходу керуючих управлінських програм.

У зв'язку з цим необхідна розробка нового комплексного підходу до вирішення проблеми забезпечення контролепридатності складних ЦС (авіаційно-космічних тренажерів) в реальному часі вирішення тренінгових завдань управління з урахуванням нерозривного єднання апаратних і програмних засобів ЦС.

### Формулювання мети та завдань.

Концептуальне твердження автора: перспективним напрямом рішення задачі забезпечення функціональної контролепридатності у реальному часі роботи складних ЦС за прямим призначенням з урахуванням нерозривного єднання апаратних і програмних засобів може бути розробка сигнатурних методів, які використовують математичний апарат синтезу структурної надмірності, заснований на автоматній моделі представлення об'єктів контролю (ОК) [5].

В контексті сказаного у подальшому поняття «функціональна контролепридатність» будемо трактувати згідно наступному визначенню.

**Визначення 1.** Функціональна придатність цифрової системи до контролю за прямим призначенням - властивість системи, що характеризує її придатність до проведення контролю заданими засобами частини або всіх властивих їй функцій в процесі використання системи за прямим (цільовим) призначенням.

Необхідність в пошуку нового математичного апарату, в першу чергу, пов'язана з питанням вибору рівня формалізації моделі ОК сучасних цифрових авіаційно-космічних тренажерів. З одного боку, рівень повинен бути вибраний найближчим до базисного елементного рівня; з іншого боку, слід забезпечити єдність формалізованого представлення ієрархічних моделей контролю апаратно-програмних засобів з урахуванням вибраного виду відображення множини реакцій ОК на множину їх контрольних ознак. Правомірність такої вимоги виходить з тенденції розвитку сучасних ЦС на принципах глибокої уніфікації, стандартизації структур сигналів і інтерфейсів [6]. Тому стає актуальною формалізація процесу синтезу надмірності в умовах безперервного зростання складності і ступеня інтеграції сучасних КМ. Одним з напрямів розвитку є уявлення і обробка контрольної інформації у вигляді сигнатур.

**Виклад основного матеріалу.** Блок-схема функціонального контролю ОК при використанні входів  $X$  і виходів  $Y$  об'єкту контролю надана на рис. 1 (ОК - цифровий автомат з передавальною функцією  $\Psi$ ; умовний контрольний пристрій (УКП) є комбінаційним і здійснює сюр'єктивне відображення  $\Psi_k: X \rightarrow Y_k$  вхідних двійкових векторів  $X$  і вихідних двійкових векторів  $Y_k$  таким чином, щоб забезпечувалася задана достовірність контролю; вирішальний орган (ВО) проводить відображення  $\Psi_{BO}: Y \times Y_k \rightarrow \varepsilon = \{0,1\}$  шляхом ідентифікації кожного вектора виходу ОК  $y_i \in Y$  з векторами  $y_{ki} \in Y_k$ ; оператор  $S$  необхідний для кодування векторів довжини  $n$  у відповідні їм вектори довжини  $m$  ( $n > m$ ).

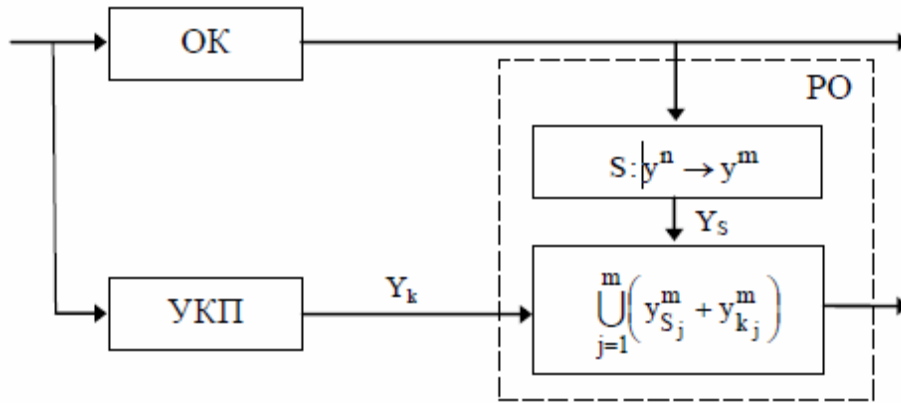


Рис. 1. Блок-схема функціонального контролю

Залежність між функціями  $\Psi(X)$  і  $\Psi_k(X)$  визначимо у вигляді:

$$\begin{aligned} \Psi_k &= S(\Psi(X)) = S(\Psi_1 * \Psi_2 * \dots * \Psi_q) = \\ &= S_{\Psi_1} * S_{\Psi_2} * \dots * S_{\Psi_q} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\Psi_j$  і «\*» - відповідно булева функція  $j$ -го елементарного контрольного вузла з шуканого кінцевого (стандартного) набору і булева операція суперпозиції (комутації).

При цьому рівень абстракції ОК (опис функції  $\Psi(X)$ ) обмежимо детермінованими арифметичними функціями, оскільки єдиною (універсальною) основою всіх арифметичних і логічних операцій КМ є елементарна операція арифметичного складання. Зокрема, приклади даного уявлення для булевих операцій розглянуті в роботі [7].

Тоді завдання вибору аналітичної моделі ОК з урахуванням прийнятих початкових посилок сформулюємо наступним чином.

Нехай задано ОК з доступними для контролю його входами і виходами. Знайти для цього ОК опис його УКП у вигляді (1) такий, щоб детермінована арифметична функція  $\Psi(X)$  була представлена еквівалентною булевою функцією

$$(\Psi_1 * \Psi_2 * \dots * \Psi_q). \quad (2)$$

Оскільки (2) припускає незалежність вибору оператора  $S$  від функції  $\Psi(X)$ , то основою синтезу УКП слугує таке твердження.

**Твердження 1.** Детермінованій арифметичній функції  $\Psi(X)$  може бути поставлено у відповідність  $S$ -перетворення її  $\oplus$  булевого еквівалента в інфіксному вигляді (2), якщо кожна з функцій  $\Psi_j$  унітарна або бінарна, оператор  $S$  є лінійним, а операція \* - це складання по модулю два.

**Доказ.** Оскільки умовою виконання рівності (1) є незалежність вибору оператора  $S$  від функції  $\Psi$ , то існування для детермінованої арифметичної функції булевого еквівалента у принципі не

виключає його інфіксного уявлення

$$S(\Psi_1 * \Psi_2 * \dots * \Psi_q). \quad (3)$$

У свою чергу, оскільки розглядається безперервний в часі (безперервний по тактах роботи цифрової системи) контроль, то з рішення 13-ї проблеми Гільберта відомо, що всяка безперервна функція  $N$  змінних представима у вигляді суперпозиції безперервних функцій двох змінних [7].

Тоді принцип суперпозиції

$$S(\Psi_1 * \Psi_2 * \dots * \Psi_q) = S_{\Psi_1} * S_{\Psi_2} * \dots * S_{\Psi_q},$$

реалізується, якщо має місце лінійне  $S$ -перетворення лінійної булевої функції. Лінійність булевого еквівалента (2) можлива тільки у тому випадку, коли всі функції  $\Psi_j$  є функціями однієї і (або) двох змінних за умови уявлення  $\Psi_j$  та \* сумою по модулю два або еквівалентністю [7].

Припустимо, що  $S$  несюр'єктивне відображення. Тоді повинен бути хоч би один такий вектор і  $y_i^k \in Y_k$  на вході УКП, що для всіх  $y_i$   $S(y_i) \neq y_i^k$ .

Проте перехід безпомилково працюючого КО в працездатний стан з таким  $y_i^k$  суперечить суті організації ФК і тому  $S: Y \rightarrow S(\leftarrow Y)$  є сюр'єктивне відображення, що і було потрібно довести.

З урахуванням твердження 1 булевий еквівалент арифметичної функції складання має вигляд:

$$\begin{aligned} A + B &= (A \oplus B) \oplus H(A \oplus B) = \\ &= A \oplus B \oplus H(A + B) \end{aligned} \quad (4)$$

де  $H(A \oplus B)$  - число, код якого характеризує перехід одиниць перенесення при складанні чисел  $A$  і  $B$ . Оскільки  $H(A \oplus B)$  встановлює взаємний

поліноміальний зв'язок між  $A$  і  $B$ , то  $H(A \oplus B)$  визначимо як взаємну поліноміальну характеристику двох чисел, що вступають в операцію арифметичного складання.

**Приклад 1.**

$$A = 1010111 \text{ або } P(A) = x^7 + x^5 + x^3 + x^2 + 1;$$

$$B = 0110001 \text{ або } P(B) = x^6 + x^5 + 1.$$

Результат:

$$A + B = \left( \oplus \begin{matrix} 1010111 \\ 0110001 \end{matrix} \right) = 10001000,$$

$$H(A + B) = 11101110.$$

Тоді арифметична сума чисел  $A$  і  $B$  згідно (3) через виконання булевої операції «сума по модулю два» буде сформований так:

$$A + B = \left( \oplus \begin{matrix} 01010111 \\ 00110001 \\ 11101110 \end{matrix} \right) = 10001000.$$

Аналогічно використання суперпозиції по модулю два контрольних характеристик у відомому методі тестового контролю – сигнатурному аналізі, як оператора  $S$  вибираємо векторну інтеграцію ( $sig$ ) оператора утворення сигнатур двійкової послідовності довжини  $n$ . У [7] показано, що при загальному виді створюючого (що породжує) полінома

$$P(x) = \delta_m x^m + \delta_{m-1} x^{m-1} + \dots + \delta_1 x + 1$$

синтез формувача сигнатур двійкових векторів  $A = a_n a_{n-1} \dots a_1$  (вага розрядів зростає справа наліво) зводиться до тривіального синтезу комбінаційної схеми згортки по модулю два ( $sig A = g_m g_{m-1} \dots g_1$ ) на основі алгоритму зрушення регістра із зворотними зв'язками.

Покажемо, що щодо множини  $R$  аналітичних модулів ОК у вигляді детермінованих арифметичних функцій існує кінцева множина  $W$  операцій інфіксного уявлення (1). З цією метою

$$\begin{aligned} sig(A \times B) &= b_1 sig A \oplus b_2 sig H(A + A) \oplus \dots \oplus b_{n-1} sig A 2^{n-2} \oplus b_n sig A 2^{n-1} \\ &\oplus b_1 b_2 sig H[A + H(A + A)] \oplus \dots \oplus b_{n-1} sig H[A b_1 \oplus b_2 H(A + A) \oplus b_1 b_2 H[A + H(A + A) \oplus \dots] + A 2^{n-2}] \oplus \\ &\oplus b_n sig H \left\{ [A b_1 \oplus b_2 H(A + A) \oplus \dots \oplus A b_{n-1} 2^{n-2} \oplus A b_n 2^{n-2} \oplus b_1 b_2 H[A + H(A + A)] \oplus \dots \oplus \right. \\ &\left. \oplus b_{n-1} H[A b_1 \oplus b_2 H(A + A) \oplus b_1 b_2 H[A + H(A + A)] \oplus \dots] + A 2^{n-2}] + A 2^{n-1} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

Випадки різних знакових розрядів співмножників розглянуті у [7]. При цьому загальне представлення результатів множення як суперпозиції по модулю два має вигляд:

необхідно довести, що для всіх чотирьох елементарних арифметичних функцій умова сформульованої теореми виконується.

Враховуючи (4), для функції складання маємо:

$$\begin{aligned} sig(A + B) &= sig(A \oplus B) \oplus sig H(A \oplus B) = \\ &= sig A \oplus sig B \oplus sig H(A \oplus B) \end{aligned} \quad (4)$$

і, отже, оператори  $\{ \oplus, sig, H(\dots), \} \in W$ .

**Визначення 2.**  $H(A + B)$  - є усічена зліва (відкинутий старший розряд) взаємна поліноміальна характеристика операндів  $A$  і  $B$ .

**Функція віднімання**  $F^{(-)} = A - B = A + (-B)$ .

В результаті перетворення  $n$ -розрядного прямого коду негативного числа  $(-B)$  в його додатковий код  $(-B)_{\text{доп}}$  одержуємо:

$$(-B)_{\text{доп}} = B \oplus d_{[n]} \oplus f_{[n]} \oplus H[(B \oplus d_{[n]}) + f_{[n]}]$$

$$sig(A - B) = sig A \oplus sig B \oplus sig(d_{[n]} \oplus f_{[n]}) \oplus \oplus sig H[(B \oplus d_{[n]}) + f_{[n]}] \oplus \quad (5)$$

$$sig H \{ A + [B \oplus d_{[n]} \oplus f_{[n]} \oplus H[(B \oplus d_{[n]}) + f_{[n]}]] \}$$

де  $d_{[n]}$  -  $n$ -розрядне число (константа) з одиницями у всіх розрядах;  $f_{[n]}$  -  $n$ -розрядне числа (константа) відповідно з одиницею тільки у молодшому розряді.

Із зіставлення (4) і (5) слідує висновок:  $\{H(\ ), d, f\} \in W$ .

**Функція множення**  $F^{(\times)} = (A \times B)$ .

З урахуванням староегипетського способу множення [8] і представлення вагів розрядів множника:

$$B(x) = b_n x^n + b_{n-1} x^{n-1} + \dots + b_2 x^2 + b_1 x^1 \quad (6)$$

$$A \times B = A \sum_{i=1}^n b^i 2^{i-1}$$

Тоді на підставі (4) для випадку позитивних співмножників маємо рівняння

$$\begin{aligned} F_{3n}^{(\times)} &= (|A| \times |B|) + k_{[2n+1]} = \\ &= (|A| \times |B|) \oplus k_{[2n+1]} \oplus H \{ (|A| \times |B|) + k_{[2n+1]} \} \end{aligned} \quad (8)$$

де  $k_{[2n-1]}$  –  $(2n+1)$ -розрядне число (константа з одиницею тільки в старшому розряді) представлення знакового розряду за умови його розташування зліва від старшого розряду мантиси. Із зіставлення (4), (5) з (7) витікає, що  $k \in W$ .

**Функція ділення**  $F^{(c)} = (\frac{A}{B})$ . Подібно до множення звісно, що ділення двійкових чисел може бути виконано у вигляді чергування простих операцій віднімання і зрушення [7]. Щодо операції зрушення інтерес представляє випадок співвідношення.

$$B = 2^{-r} A, (r = 1, 2, \dots).$$

**Визначення 3.** Якщо число  $A$  описується приведеним поліномом

$$A(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0,$$

то відповідне йому транспоноване число  $A^T$  описується поліномом

$$A^T(x) = a_0 x^n + a_1 x^{n-1} + \dots + a_{n-1} x + a_n$$

де  $T$  - операція транспонування кодів двійкових чисел (логічна операція).

З урахуванням даного визначення

$$\begin{aligned} 2^{-1} A &= A - B = \left[ H(A^{T(A)} + A^{T(A)}) \right]^T = \\ &= H^T(A^{T(A)} + A^{T(A)}) \end{aligned} \quad (9)$$

Тоді

$$\begin{aligned} sig B &= sig(2^{-1} 2 - (r-1)A) = \\ &= sig H^T \left[ (2^{-(r-1)} A)^T + (2^{-(r-1)} A)^T \right] = \\ &= sig H^T \left[ 2^{(r-1)} A^T + (2^{(r-1)} A)^T \right] = \\ &= sig \left[ 2^{-(r-1)} H^T (A^T + A^T) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Із зіставлення (4) - (8) з (9) витікає, що  $T \in W$ .

Таким чином,  $W = (sig, \oplus, H, H, T, f, d, k)$  – є множина операцій інфіксного представлення моделі (1) множини  $R$  і згідно відомому визначенню [9] система  $(R; W)$  - є алгебра  $(R$  - основна множина,  $W$  - сигнатура алгебри) з двома бінарними логічними операціями:  $\oplus, H$ ; трьома унарними логічними операціями:  $H, T, sig$ ;

**Список літератури:**

1. Збінятів А.Н., Шульгін Р.Н., Лысанов И.Ю. Анализ методов контроля технического состояния цифровых систем передачи и определения мест отказов в этих системах/ А.Н. Збінятів, Р.Н. Шульгін, И.Ю. Лысанов // Телекоммуникации. - 2012. - №8 - С.21-32.
2. Золоторевич Л. А. Построение тестов контроля цифровых систем на уровне межрегистровых передач // Л.А. Золоторевич, А.В. Ильинкова // Информатика.- 2010. -№1.- С. 112–121.
3. Хетагуров, Я. А. Практические методы построения надежных цифровых систем. Проектирование,

константами:  $k, d, f$ . Виходячи з пріоритету у часі опублікування результатів наукових досліджень автора даної статті у монографії [7], назвемо алгебру  $Alg(R; sig, \oplus, H, H, T, f, d, k)$  сигнатурною алгеброю Тупкало (булево-поліноміальна алгебра Тупкало).

**Твердження 2.** Сигнатурна алгебра Тупкало

$$Alg(R; sig, \oplus, H, H, T, f, d, k)$$

є лінійною комутативною.

Доказ. Відносно (1) відображення

$$sig(\Psi_1 * \Psi_2 * \dots * \Psi_q) \rightarrow sig(Y)$$

лінійно, оскільки воно зберігає лінійну структуру в наступному сенсі:

1) є адитивним, тобто з (1) слідує

$$sig(\Psi_1 * \Psi_2 * \dots * \Psi_q) = sig \Psi_1 \oplus sig \Psi_2 \oplus \dots \oplus sig \Psi_q$$

2) є однорідним першого ступеня, тобто  $sig(\Psi_j) = sig \chi \Psi_j$ , де  $\chi = \{0, 1\}$  – скаляр поля  $GF(2)$ , а  $\Psi_j$  – будь-який  $n$ -розрядний вектор з розширення  $GF(2^n)$ .

Відомо [10], що алгебра називається комутативною, якщо основна множина  $R$  наділена комутативним законом композиції. З твердження 1 витікає, що у разі булевого інфіксного уявлення (1) таким законом є сума по модулю два  $\oplus$ .

**Висновки.** Отже, перевагою синтезованої сигнатурної алгебри Тупкало  $Alg(R; W)$  є можливість переходу від формул алгебри до реалізації їх умовного контрольного пристрою (УКП) безпосередньо без застосування додаткових інтерпретуючих і мінімізуючих процедур шляхом простої логічної композиції (комутації) функціонально закінчених елементарних структур з кінцевої множини (стандартного набору). Це дасть змогу розширити використання методу сигнатурного аналізу на основі запропонованого апарату сигнатурної алгебри Тупкало для оперативного у часі контролю функціонування цифрових систем різного призначення, в тому числі нових розроблювальних перспективних авіаційно-космічних тренажерів. Метою подальших досліджень є розробка практичних рекомендацій до застосування наведених результатів дослідження.

производство, эксплуатация / Я. А. Хетагуров.-М. : Высш. шк., 2013. – 156 с.

4. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2015. – 479 с.
5. Мухопад Ю.Ф. Контроль управляющих автоматов сложных технических систем реального времени // Ю.Ф. Мухопад, А.Ю. Мухопад, Д.Ц. Пунсык-Намжилов// Научный вестник НГТУ-2017.-№1.- С.53-62.
6. Соловьев В.В., Климович А.П. Логическое проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем// В.В.Соловьев, А.П.Климович//. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 374 с.
7. Тупкало В.Н. Основы теории сигнатурного контроля цифровых систем: монография / В.Н.Тупкало.-МО Украины, 1994.-324 с.
8. Самофалов К.Г. Прикладная теория цифровых автоматов / К.Г. Самофалов. - К.: Вища школа, 1987. - 375 с.
9. Кузнецов А.П., Г.М. Дискретная математика для ин-женера. / А.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон-Вельский.-М.: Энергия, 1980. - 344 с.
10. Функциональный анализ / Под ред. С.Г. Крейна. - М.: Наука, 1972. - 544 с.

#### References:

1. Zbinyatov A.H., Shul'gin P.H., Lysanov I.U. Analiz metodov kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya i peredachi dannykh v etikh sistemakh / A.N. Zbinyatov, R.N. Shul'gin, I.U. Lysanov // Telekommunikatsii. - 2012. - №8 - S.21-32.
2. Zolotarevich L.A. Postroyeniye testov kontrolya sistem na urovne mezhregistroykhn peredach // L.A. Zolotarevich, A.V. Il'inkova // Informatika.- 2010. -№1.- S. 112-121.
3. Khetagurov, Y. A. Prakticheskiye metody postroyeniya nadezhnykh tsifrovyykh sistem. Proyektirovaniye, proizvodstvo, ekspluatatsiya / Y. A. Khetagurov.-M. : Vyssh. shk., 2013. - 156 s.
4. Cherkesov G.N. Nadezhnost' apparatno-programmnykh kompleksov. - SPb. : Piter, 2015. - 479 s.
5. Mukhopad Y.F. Kontrol' upravlyayushchikh avtomatov slozhnykh tekhnicheskikh sistem vremeni // Y.F. Mukhopad, A.U. Mukhopad, D.S. Punsyk-Namzhilov // Nauchnyy vestnik NGTU-2017.-№1.- S.53-62.
6. Solov'yev V.V., Klimovich A.P. Logicheskoye proyektirovaniye tsifrovyykh sistem na osnove programmiruyemykh logicheskikh integral'nykh skhem // V.V.Solov'yev, A.P.Klimovich // . - M. : Goryachaya liniya-Telekom, 2008. - 374 s.
7. Tupkalo V.N. Osnovy teorii signaturnogo kontrolya tsifrovyykh sistem: monografiya / V.N.Tupkalo.-MO Ukrainy, 1994.-324 s.
8. Samofalov K.G. Prikladnaya teoriya tsifrovyykh avtomatov / K.G. Samofalov. - K. : Vishcha shkola, 1987. - 375 s.
9. Kuznetsov A.P., G.M. Diskretnaya matematika dlya in-zhenera. / A.P. Kuznetsov, G.M. Adel'son-Vel'skiy.-M. : Energiya, 1980. - 344 s.
10. Funktsional'nyy analiz / Pod red. S.G. Kreyna. - M. : Nauka, 1972. - 544 s.

## МЕТОД СИГНАТУРНОГО ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Тупкало В.М.

Предметом исследования является обеспечение надежности функционирования цифровых информационных систем широкого спектра целевого назначения в реальном масштабе времени на основе введения структурной избыточности. Целью проведенного исследования является разработка метода синтеза структурной избыточности. Результатом работы является созданный математический аппарат сигнатурной алгебры. Этот аппарат позволяет сводить решение задачи синтеза подсистемы контроля функционирования цифровых информационных систем в реальном масштабе времени к простой процедуре композиции функционально законченных элементарных комбинационных узлов из конечного универсального набора. Одно из возможных направлений использования результатов исследования может быть связано с решением проблемы обеспечения надежности авиационно-космических тренажеров.

**Ключевые слова:** цифровые информационные системы, сигнатурный контроль, математический аппарат сигнатурной алгебры, метод синтеза структурной избыточности, надежность авиационно-космических тренажеров.

## METHOD OF SIGNATURE OPERATIONAL CONTROL OVER DIGITAL INFORMATION SYSTEMS

V.M. Tupkalo

The subject of the study is to ensure the reliability of the operation of digital information systems of a wide range of real-time applications based on the introduction of structural redundancy. The result of this study is the created mathematical apparatus of signature algebra. This mathematical apparatus makes it possible to reduce the problem of synthesizing the subsystem controlling the operation of digital information systems in real time to a simple procedure for connecting functionally completed elementary combinational nodes from a finite universal set. One of the possible directions of using the results of the study may be related to solving the problem of ensuring the reliability of aerospace simulators.

**Keywords:** digital information systems, signature control, mathematical apparatus of signature algebra, method of synthesis of structural redundancy, reliability of aerospace simulators.

УДК 550.34

Романов М.О.<sup>1</sup>, Кошель Т.А.<sup>2</sup>, Петров С.В.<sup>3</sup>, Линник М.Ф.<sup>4</sup><sup>1</sup> Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ ДКА, Україна, смт Городок<sup>2</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна, Харків<sup>3</sup> Українська інженерно-педагогічна академія, Харків<sup>4</sup> Харківський національний технічний університет ХПІ, Україна, Харків

## ФОРМУВАННЯ І ВИБІР РІШЕНЬ ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНО РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ГОЛОВНОГО ЦЕНТРУ СПЕЦІАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

*Аналізуються особливості проблеми структурного синтезу територіально розподілених систем. Визначено вимоги, яким повинні задовольняти підходи до її вирішення. На основі раніше визначеної послідовності вирішення завдань проблеми, запропонована структура ітераційної схеми логічного проектування систем спостереження, передачі та обробки інформації Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України*

**Ключові слова:** великомасштабний об'єкт, система контролю, структура, топологія, оптимізація, логічна схема системного проектування.

**Вступ.** У процесі проектування систем обробки інформації, під час їх реорганізації або плануванні розвитку неминує виникати завдання синтезу структури різноманітних структур Головного центру спеціального контролю (ГЦСК). При цьому синтезуються організаційна, топологічна, функціональна, інші види структур ГЦСК. Важливість подібних задач зростає для територіально розподілених систем (регіональних центрів спецконтролю, управління, центру обробки інформації, інших). Урахування топології служить ще одним чинником, що впливає на вартість і функціональні характеристики систем [1-4].

**Постановка задачі.** Основними завданнями, пов'язаними з вирішенням питань системного проектування територіально розподілених систем обробки інформації (ТРСОІ), є [5]:  $Task_1^2 = \{Task_i^2\}$ ,  $i = \overline{1, 6}$ , де  $Task_1^2$  – вибір принципів побудови системи;  $Task_2^2$  – вибір структури системи;  $Task_3^2$  – вибір топології елементів та зв'язків;  $Task_4^2$  – вибір технології функціонування;  $Task_5^2$  – визначення параметрів елементів і зв'язків;  $Task_6^2$  – оцінка ефективності варіантів та вибору рішень.

**Основний матеріал.** В процесі розробки методу формування рішень для базової задачі системного проектування ТРСОІ необхідно провести аналіз її вирішення на трьох рівнях: за входами, по ресурсах, по процесу [6-7]. Від вирішення задачі на кожному з рівнів буде слідувати можливість вирішення поставленого завдання в цілому. При цьому слід враховувати характерні особливості завдання системного проектування ТРСОІ [3]:

тісний взаємозв'язок задач структурного, топологічного, параметричного, технологічного синтезу, що вимагає спільного рішення;

комбінаторний характер більшості задач (підзадач), які входять до її складу;

необхідність рішення задач великої розмірності;

наявність у постановках задач складно формалізованих чинників;

висока динамічність або невизначеність початкових даних; широкий діапазон умов вирішення задач.

Аналіз наведених вище особливостей завдань ГЦСК дозволяє формулювати вимоги, яким повинні задовольняти ефективні методи та процедури їх вирішення:

1. Тісний взаємозв'язок задач та неповна інформаційна визначеність задач вибору принципів побудови ТРСОІ, структурного, топологічного, параметричного та технологічного синтезу, а також аналізу та вибору проектних рішень  $Task_i^2$  по наборах вхідних даних  $InDat_i^2$  та обмежень  $Re.s_i^2$ ,  $i = \overline{1, 6}$ , обумовлює ітераційний характер методів та процедур їх вирішення. Таким чином забезпечується можливість вирішення задач  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1, 6}$  на вході.

2. Висока складність методів вирішення (процедур вирішення)  $MetDec_i^2$ , зумовлена комбінаторним характером більшості задач  $Task_i^2$ , і широкий діапазон умов їх вирішення вимагають при їх вирішенні використання множини методів  $\{MetDec_{ik}^2\}$ ,  $i = \overline{1, 6}$ , що мають різну складність та точність вирішення. Це забезпечить можливість вирішення задач системного проектування за ресурсами.

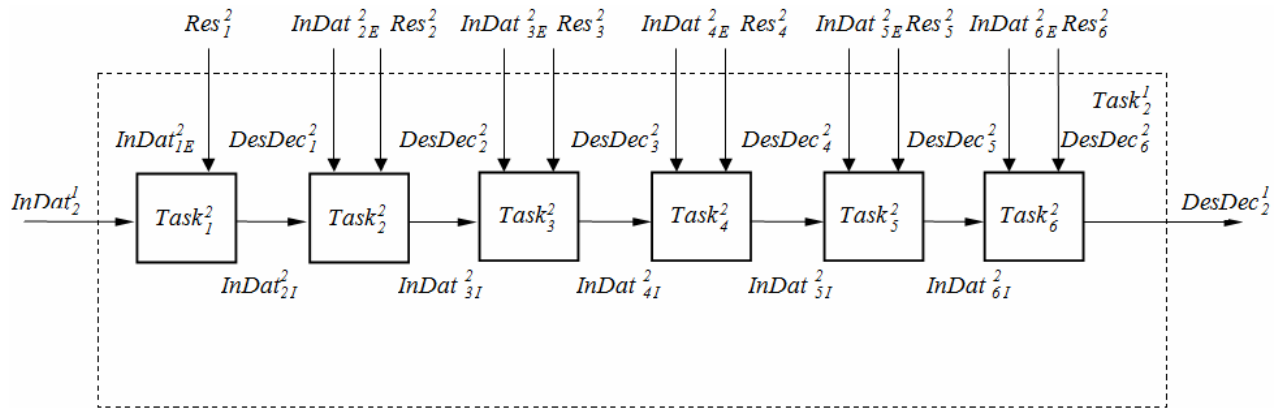
3. Для більш повного використання досвіду проектувальників та урахування чинників, які важко формалізувати, процес рішення доцільно будувати на основі інтерактивних (людина-машина) процедур. Процес пошуку проектного рішення при цьому буде складатися із взаємодоповнюючих процедур автоматичного та інтелектуального синтезу за участю оператора.

4. На всіх етапах проектування доцільно використовувати прийоми, що зменшують

трудомісткість рішень задач системного проектування  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1, 6}$ .

З цією метою можуть бути використані різноманітні роди евристики, що враховують специфіку задач, рішення, отримані за допомогою "швидких" процедур, формальні або експертні оцінки.

З урахуванням виділених особливостей задач ГЦСК і перерахованих вимог до процедур їх вирішення, послідовності рішень задач (рис. 1), а також аксіом системного проектування [6], метод формування вирішення задач системного проектування пропонується будувати на основі ітераційної логічної схеми [7].



$Task_1^2$  – задача вибору принципів побудови ТРС;  $Task_2^2$  – задача вибору структури;  $Task_3^2$  – задача визначення топології елементів та зв'язків;  $Task_4^2$  – задача вибору технології функціонування;  $Task_5^2$  – задача визначення параметрів елементів та зв'язків;  $Task_6^2$  – задача оцінки ефективності варіантів та вибір рішень.

Рис. 1. Послідовність задач у лінійній схемі системного проектування ТРС

Внаслідок нерозв'язаності задач за даними в лінійній послідовності  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{2, 5}$  формування вхідних даних  $InDat_i^2$  та обмежень  $Res_i^2$  для них на початковій ітерації буде здійснюватися на основі прогнозних (зокрема, експертних) даних. На інших ітераціях в якості вхідних даних  $InDat_i^2$  і обмежень  $Res_i^2$  будуть використовуватись результати вирішення наступних  $DesDec_j^2$ ,  $j > i$ ,  $i = \overline{1, 5}$  послідовної схеми.

Суть запропонованого методу системного проектування ТРСОІ ГЦСК на основі ітераційно-послідовної схеми логічного проектування може бути представлена таким чином:

1. Початок рішення. Введення вхідних даних  $InDat_1^1$  і обмеження  $Res_1^1$  задачі  $Task_1^1$ .
2. Формування стратегії пошуку рішення.
3. Вибір варіанта структури системи ( $Task_2^2$ ).
4. Визначення топології елементів та зв'язків ( $Task_3^2$ ).
5. Вибір технології функціонування ( $Task_4^2$ ).
6. Визначення параметрів елементів і зв'язків ( $Task_5^2$ ).
7. Перевірка системи обмежень задачі  $Task_6^2$ . Якщо оцінки властивостей отриманого варіанту побудови системи  $K(s)$  не задовольняють

обмеженням задачі  $Res_2^1$ , перейти до п. 3.

8. Оцінка ефективності та вибору кращого зі сформованих варіантів.

9. Якщо стратегія пошуку рішення не вичерпана, перехід до п. 3.

10. Формування рішень оператором, оцінка їх ефективності та вибір кращого варіанту.

11. Закінчення рішення. Визначено кращий варіант побудови ТРСОІ ГЦСК та підсистем Головного Центру  $s^0$  та його оцінка  $K(s^0)$  за множиною часткових критеріїв  $K$ .

Початкові дані  $InDat_1^1$  і обмеження  $Res_1^1$  включають:  $ObjS$  - множина характеристик об'єктів, що підлягають обслуговуванню;  $K$  - множина часткових критеріїв, що використовуються для оцінки ефективності системи;  $Q^*$ ,  $C^*$  - граничні рівні показників ефекту та вартості системи;  $S^i = \{s\}$  - підмножина варіантів, що визначають область існування системи;  $\Pi$  - можливі принципи побудови системи.

Стратегія пошуку рішення, яка формується в пункті 1, визначає умови ітераційної реалізації пунктів 3-8, а також вибір проектних процедур  $ProcDec_i^2$  для отримання вирішень по задачам  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1, 6}$ . Вибір стратегії здійснюється на основі рішення задачі, що формує область допустимих варіантів побудови ТРСОІ  $S^* = \{s\}$ ,

виходячи з вибраних принципів побудови системи  $\pi \in \Pi$ .

Конкретні положення стратегії багато в чому визначаються необхідною точністю рішень  $DesDec_i^2$ ,  $i = \overline{1,6}$ , а також обчислювальними ресурсами, які ми маємо у наявності.

Пункти 3-6 передбачають реалізацію проектних процедур  $ProcDec_i^2$ ,  $i = \overline{2,5}$  для вирішення задач вибору структури системи, визначення топології елементів і зв'язків, вибору технології функціонування, визначення параметрів елементів і зв'язків в умовах вхідних даних  $InDat_i^2$  та обмежень  $Res_i^2$ . Кожна з процедур  $ProcDec_i^2$ ,  $i = \overline{2,5}$  базується на одній із моделей задачі  $ModTask_i^2 = \{ModTask_{ik}^2\}$  і використовує один із методів її вирішення  $MetDec_i^2 = \{MetDec_{ij}^2\}$ .

Перевірка обмежень  $Res_i^2$  здійснюється в процесі вирішення кожної з задач  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1,5}$ . Пункт 5 передбачає перевірку обмежень загальної задачі  $Task_2^1$ .

Оцінка ефективності та вибір кращого варіанту побудови ТРСОІ ГЦСК (пункт 8) здійснюється з використанням формальних або експертних процедур багатофакторного оцінювання та вибору з множини  $ProcDec_{6p}^2$  [8].

Пункт 9 передбачає перевірку умов завершення ітераційного циклу рішення задач комплексу  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{2,5}$ , (зокрема, кількості циклів процедури "мультистарт" для пошуку глобального екстремуму цільової функції).

В пункті 10 передбачається формування рішень  $s \in S^*$  оператором системи проектування та автоматизована оцінкою їх властивостей за множиною критеріїв  $K(s)$ , порівняння їх з кращими із отриманих раніше та вибором

кращого серед них  $s^0$ .

В залежності від наявних у наявності засобів автоматизації проектування та обраної стратегії формування проектних рішень можливі різні форми участі оператора у формуванні рішень в пунктах 2-10: оператор-програміст, оператор-дослідник, оператор-координатор [6].

Можливість вирішення у ході процесу виконання задач системного проектування ТРСОІ ГЦСК в цілому  $Task_2^1$  впливає з можливості вирішення складових задач  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1,6}$  та збіжності всієї ітераційної процедури їх вирішення. При цьому проектні рішення  $DesDes_i^2$  задач  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1,6}$ , на наступних ітераціях запропонованої схеми стануть більш точні, тому що будуть формуватися виходячи з рішень, отриманих на попередніх ітераціях. Як наслідок, підвищиться і якість вирішення  $DesDes_2^1$  початкової поставленої задачі.

Подальша деталізація описаної логічної схеми проектування та запропонованого методу формування проектних рішень передбачає вибір або розробку нових математичних моделей  $ModTask_i^2$  і методів рішення  $MetDec_i^2$  всіх часткових завдань  $Task_i^2$ ,  $i = \overline{1,6}$ .

**Висновки.** Запропонований підхід до вирішення задач системного проектування територіально розподілених об'єктів Головного центру спеціального контролю було використано при проектуванні інформаційних систем та систем обслуговування [3, 9-11]. Практичне застосування отриманих результатів дозволяє скоротити терміни вирішення задач проектування та планування об'єктів розробки, скоротити витрати на їх створення та експлуатацію, за рахунок спільного вирішення завдань підвищити якість рішень і на цій основі покращити функціональні характеристики створюваних об'єктів.

### Список літератури:

1. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Филиппов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. Оптимизационно-имитационный подход. - М.: Наука, 1985.- 174 с.
2. Зайченко Ю.П., Гонга Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. - Киев: Техника, 1986. - 168 с.
3. Петров Э.Г., Писклакова В.П., Бескоровайный В.В. Территориально распределенные системы обслуживания. - Киев: Техника, 1992. - 208 с.
4. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. - Л.: Энергоиздат, 1982. - 288 с.
5. Бескоровайный В.В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем //АСУ и приборы автоматики. - 2002. - Вып. 120. - С. 29-37.
6. Построение современных систем автоматизированного проектирования /Жук К.Д., Тимченко А.А., Родионов А.А. и др. - К.: Наук. думка, 1983. - 248 с.
7. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основы САПР та системного проектирования складных об'єктів /За ред. В.И. Бикова. - К.: Либідь, 2000. - 272 с.
8. Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. - К.: Наук. думка, 2002. - 164 с.
9. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А., Стадник И.А. Комплекс интерактивного проектирования топологических структур ИВС //Вестник ХГТУ. - 1999. - № 1(5). - С. 33 - 36.
10. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А. Алгоритмы оптимизации топологии ИВС на множестве радиально-узловых структур //Радиоэлектроника и информатика. - 2000. - №2. - С.100-104.
11. Бескоровайный В.В., Имангулова З.А. Математическая модель задачи синтеза централизованных информационных сетей //Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - 2000.- Вып. 118. - С. 11-14.



**References:**

1. Tsvirkun A.D., Akinfiev V.K., Filippov V.A. *Simulation modeling in the problems of synthesis of the structure of complex systems. Optimization-simulation approach.* - Moscow: Nauka, 1985. - 174 p.
2. Zaichenko Y.P., Gonta Y.V. *Structural optimization of computer networks.* - Kiev: Technique, 1986. - 168 p.
3. Petrov E.G., Pisklakova V.P., Beskorovainy V.V. *Geographically distributed service systems.* - Kiev: Engineering, 1992. - 208 p.
4. Denisov A.A., Kolesnikov D.N. *The theory of large control systems.* - L.: Energoizdat, 1982. - 288 p.
5. Beskorovainy V.V. *Systemological analysis of the problem of structural synthesis of territorially distributed systems // ACS and automation devices.* - 2002. - Issue. 120. - 29-37 p.
6. *Construction of modern computer-aided design systems / Zhuk K.D., Timchenko A.A., Rodionov A.A. and others.* - K.: Nauk. dumka, 1983. - 248 p.
7. Timchenko A.A. *The basis of the system project is the analysis of the collapsible objective: In 2 books. Book. 1. The basis of CAD system design of the project of folding objective / Ed. V.I. Bikova.* - K.: Libid, 2000. - 272 p.
8. Ovezgeldyev A.O., Petrov E.G., Petrov K.E. *Synthesis and identification of models of multifactorial estimation and optimization.* - K.: Science dumka, 2002. - 164 p.
9. Beskorovainy V.V., Imangulova Z.A., Stadnik I.A. *Complex of interactive design of topological structures of IVS // Vestnik KhSTU.* - 1999. - No. 1 (5). - 33 – 36 p.
10. Beskorovainy V.V., Imangulova Z.A. *Algorithms for optimizing the topology of IVS on a set of radial-node structures // Radioelectronics and Informatics.* - 2000. - №2. - 100-104 p.
11. Beskorovainy V.V., Imangulova Z.A. *Mathematical model of the problem of synthesis of centralized information networks // Bulletin of Kharkov State Polytechnic University.* - 2000. - Vol. 118. - 11-14 p.

**ФОРМИРОВАНИЕ И ВЫБОР РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ СИСТЕМНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ  
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ГЛАВНОГО  
ЦЕНТРА СПЕЦИАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

Романов М.О., Кошель Т.А., Петров С.В., Линник М.Ф.

Анализируются особенности проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем. Определены требования, которым должны удовлетворять подходы к ее решению. На основе ранее определенной последовательности решения задач проблемы, предложена структура итерационной схема логического проектирования подобных систем.

**Ключевые слова:** крупномасштабный объект, система контроля, структура, топология, оптимизация, схема системного проектирования.

**FORMATION AND SELECTION OF SOLUTIONS FOR THE TASK OF SYSTEM  
DESIGN OF TERRITORIAALLY DISTRIBUTED INFORMATION PROCESSING  
SYSTEMS OF THE MAIN SPECIAL CONTROL CENTER**

M.O. Romanov, T.A. Koshel, S.V.Petrov, M.F. Linnik.

The peculiarities of the problem of structural synthesis of territorially distributed systems are analyzed. The requirements to be met by approaches to its solution are defined. Based on the previously defined sequence of problem solving, the structure of an iterative scheme for the logical design of such systems is proposed.

**Keywords:** large-scale object, monitoring system, structure, topology, optimization, logic scheme systems design.

УДК 550.34

Осадчий В.І., Грабченко В.В., Шапка В.М.

Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ, смт. Городок, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТУДИ ДЖЕРЕЛА СЕЙСМІЧНИХ ПОДІЙ НА ЛОКАЛЬНИХ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ ВІДСТАНЯХ

Для отримання достовірних даних про енергетичні параметри локальних та регіональних сейсмічних подій їх аналізу та оцінки наслідків на території України, по записах від землетрусів з районів гір Вранча (Румунія), Українських Карпат, Закарпаття, Криму, Східно-Європейської платформи, суміжних з Україною територій уточнені формули розрахунку магнітуди по об'ємній  $S$  та поверхневій  $Lg$  хвилях. На основі отриманих даних внесені доповнення до існуючого програмно-математичного забезпечення для розрахунку енергетичних параметрів сейсмічних подій в зонах установленної відповідальності.

**Ключові слова:** сейсмічна подія, джерело землетрусу, магнітуда, локальна магнітуда, калібрувальна функція.

**Вступ.** Масштаб сейсмічного явища по запису сейсмічних хвиль на деякій відстані від джерела може бути оцінена шляхом розрахунку магнітуди  $M$  або енергії  $E$  [1].

Магнітуда  $M$  – відносна енергетична характеристика землетрусу – представляє собою логарифм максимальної швидкості коливань земної поверхні або логарифм максимальних зміщень в сейсмічних хвилях різного типу, обрахований від деякого умовного рівня, що відповідає слабкому поштовху, магнітуда якого прийнята за 0.

Максимальна магнітуда землетрусу становить близько 9 балів, що відповідає енергії  $10^{19}$  Дж.

Визначення енергетичних параметрів землетрусу ґрунтується на різних методичних підходах і залежить від рівня мережі спостережень і типу вимірювального обладнання. В більшості випадків для оцінки енергетичних параметрів місцевих землетрусів використовується локальна магнітуда  $ML$ , концепція якої була створена Ріхтером [2].

Початкова магнітуда Ріхтера,  $ML$ , ґрунтувалася на записах стандартних короткоперіодних торсіонних сейсмометрів Вуда-Андерсона, з яких складалась мережа спостережень в Південній Каліфорнії [3]. Оцінка магнітуди здійснювалася по логарифму максимальної амплітуди поперечної хвилі з урахуванням поправок на згасання і глибину вогнища, справедливих тільки для Південної Каліфорнії.

Характер згасання сейсмічних хвиль залежить від особливостей швидкісної будови земної кори, геологічних особливостей регіону, теплового потоку, глибини залягання джерел землетрусів і т.п. Це не дозволяє створити міжнародну стандартизовану калібрувальну функцію локальної магнітуди для визначення енергетичних параметрів землетрусів. Однак початкове визначення шкали  $ML$  [4] дозволяє уніфікувати процедуру розрахунку калібрувальної функції з урахуванням місцевих умов.

Величини локальної магнітуди для однієї і тієї ж події, визначені різними станціями, можуть

відрізнятися на  $\pm 0,3$ . Це пов'язано з діаграмою випромінювання джерела, напрямком на станцію і місцевими станційними ефектами.

Перевага цифрового способу реєстрації полягає в тому, що при використанні відповідних процедур обробки можливо симулювати записи типу короткоперіодного крутильного сейсмометра Вуда-Андерсона.

Передбачається, що розрахунок локальної магнітуди дозволить отримати єдину оцінку величини регіональних землетрусів в різних регіонах, що спростить зіставлення різних каталогів в зонах відповідальності, параметри подій для яких визначаються по різним мережам цифрових станцій [5].

**Метод і матеріали.** Розрахунок локальної магнітуди здійснюється за емпіричною залежністю виду:

$$ML_i = \lg(A_{ij}) + a \lg(R_{ij}) + S_j + c \quad (1)$$

де  $ML_i$  – локальна магнітуда  $i$ -го землетрусу;  $A_{ij}$  – максимальна амплітуда зміщення  $S$ -хвилі  $i$ -ї сейсмічної події в нм, виміряна на  $j$ -ій сейсмічній станції;  $R_{ij}$  – гіпоцентрально відстань (в км) від джерела  $i$ -ї події до  $j$ -ої станції;  $S_j$  – станційна поправка до магнітуди для  $j$ -го пункту спостереження;  $a$ ,  $b$  і  $c$  – калібрувальні константи;  $i=1, \dots, n$  і  $j=1, \dots, m$ , де  $n$  і  $m$  – кількість подій і станцій відповідно.

Вільний коефіцієнт  $c$  виражається через еталонні значення магнітуди  $ML_{ref}$ , амплітуди  $A_{ref}$  і відстані  $R_{ref}$ , а також розраховані значення калібрувальних констант  $a$  і  $b$ :

$$c = ML_{ref} - \lg(A_{ref}) - a \lg(R_{ref}) - bR_{ref} \quad (2)$$

Вибір  $R_{ref}$ ,  $A_{ref}$ ,  $R_{ref}$  визначається найкращим наближенням до еталонної калібрувальної функції для Південної Каліфорнії,

а також географічним масштабом завдання.

Для шкали [4] амплітуда зміщення в поперечної хвилі  $A = 408,8 \text{ нм}$  (1 мм для сейсмометра Вуда-Андерсона зі збільшенням сигналу 2080) на гіпоцентральної відстані  $R_{ref} = 100 \text{ км}$  відповідає  $ML_{ref} = 3$ , для  $R_{ref} = 17 \text{ км}$  відповідає  $R_{ref} = 2$ . Місцеві особливості загасання сейсмічних хвиль проявляються при оцінці динамічних характеристик землетрусів на гіпоцентральної відстанях до 100 км, тому вибір  $R_{ref} = 17 \text{ км}$  більш кращий, оскільки на таких масштабах калібрувальних відстаней очікуються менш значні варіації характеристик загасання в різних регіонах. З урахуванням (1) вираз (2) може бути переписано у вигляді:

$$ML_i - \lg(A_{ij}) - a \lg\left(\frac{R_{ij}}{R_{ref}}\right) - b(R_{ij} - R_{ref}) - S_j = ML_{ref} - \lg(A_{ref}) \quad (3)$$

Передбачається медіанне значення калібрувальної функції (1), а отже сума станційних поправок дорівнює нулю

$$\sum_j S_j = 0 \quad (4)$$

Виконання умови (4) має зменшити вплив систематичних помилок в розкиді даних.

Вирази (3) і (4) складають систему рівнянь, яка може бути представлена в матричній формі:

$$Ax = y \quad (5)$$

де вектор  $x = [ML_1, ML_2, \dots, ML_n, a, b, S_1, S_2, \dots, S_m]$  складений з невідомих параметрів, які необхідно визначити; вектор  $y$  складений з правої частини виразів (3) і (4):

$$y = \begin{pmatrix} \lg(A_{11}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \lg(A_{21}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \dots \\ \lg(A_{n1}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \lg(A_{22}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \dots \\ \lg(A_{n2}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \lg(A_{1m}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \lg(A_{2m}) + M_{Lref} - \lg(A_{ref}) \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$A$  – відома матриця розмірністю  $n + m + 2$  на  $nm + 1$  виду:

$$A = \begin{pmatrix} 10\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{11}}{r_{ref}}\right) - (r_{11} - r_{ref}) - 10\dots 0 \\ 01\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{21}}{r_{ref}}\right) - (r_{21} - r_{ref}) - 10\dots 0 \\ \dots \\ 00\dots 1 - \lg\left(\frac{r_{n1}}{r_{ref}}\right) - (r_{n1} - r_{ref}) - 10\dots 0 \\ 10\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{12}}{r_{ref}}\right) - (r_{12} - r_{ref}) 0 - 1\dots 0 \\ 01\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{22}}{r_{ref}}\right) - (r_{22} - r_{ref}) 0 - 1\dots 0 \\ 00\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{n2}}{r_{ref}}\right) - (r_{n2} - r_{ref}) 0 - 1\dots 0 \\ \dots \\ 10\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{1m}}{r_{ref}}\right) - (r_{1m} - r_{ref}) 0\dots 0 - 1 \\ 01\dots 0 - \lg\left(\frac{r_{1m}}{r_{ref}}\right) - (r_{1m} - r_{ref}) 00\dots 0 - 1 \\ \dots \\ 00\dots 1 - \lg\left(\frac{r_{nm}}{r_{ref}}\right) - (r_{nm} - r_{ref}) 00\dots - 1 \\ 00\dots\dots\dots 011\dots\dots 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Завдання (5) вирішується методом LSQR [6], заснованим на процедурі діагоналізації матриці в умовах поганої обумовленості.

**Результати визначення.** Визначення локальної магнітуди землетрусу за допомогою поперечних хвиль з використанням даних вертикальних та горизонтальних сейсмічних каналів цифрових станцій здійснюється на відстанях до 1000 км. На даний момент актуальним є питання щодо точного визначення магнітуди джерела землетрусу на локальних і регіональних відстанях. Визначення локальної магнітуди землетрусу здійснювалося смуговою фільтрацією вихідної хвильової форми в діапазоні частот від 1 до 15 Гц з подальшим синтезом сейсмограми Вуда-Андерсона. У разі мікроземлетрусів використовувалися більш вузькосмугові фільтри для усунення короткоперіодних та довгоперіодних мікросейсм. Пошук максимальної амплітуди запису S-хвилі для розрахунку магнітуди  $ML_V$  здійснювався на вертикальній компоненті, для магнітуди  $ML$  по горизонтальних компонентах відповідно з практичними рекомендаціями Міжнародної комісії з сейсмологічних спостережень та інтерпретації даних IASPEI [7]. Для визначення калібрувальної функції були використані  $R_{ref} = 17 \text{ км}$  і  $ML_{ref} = 2$ , відповідно до методики калібрування еталонною функцією [4], отримано рішення виду: Для гір Вранча (Румунія):

$$ML = 0,5587 \lg(A) + 1,7218 \lg(R) + 0,0004R - 1,6756 \quad (8)$$

де  $ML$  – локальна магнітуда землетрусу,  $A$  – максимальна амплітуда зміщення  $S$ -хвилі на горизонтальній складовій в нм,  $R$  – гіпоцентрально відстань до джерела в км;

$$ML_v = 0,6605 \lg(A) + 1,8275 \lg(R) + 0,0011R - 2,5595 \quad (9)$$

де  $ML_v$  – локальна магнітуда землетрусу,  $A$  – максимальна амплітуда зміщення  $S$ -хвилі на вертикальній складовій в нм.

Для Українських Карпат та Закарпаття:

$$ML = 0,6687 \lg(A) + 1,7218 \lg(R) + 0,0004R - 2,6687 \quad (10)$$

Для Українських Карпат, Закарпаття та Криму:

$$ML_v = 0,6605 \lg(A) + 1,8275 \lg(R) + 0,0011R - 3,129595 \quad (11)$$

Для території Східно-Європейської платформи [8]:

$$ML = \lg(A) + \sigma(R) \quad (12)$$

де  $\sigma$  – калібрувальна функція.

Калібрувальна функція приведена до рівня шкали локальної магнітуди Ріхтера [7], задається співвідношеннями:

$$\sigma = 1,43 \lg(R) - 2,39 \quad \text{для } R = 5 - 205 \text{ км} \quad (13)$$

$$\sigma = 2,51 \lg(R) - 4,89 \quad \text{для } R = 205 - 1000 \text{ км} \quad (14)$$

**Визначення магнітуди сейсмічних джерел з району Кривого Рогу по поверхневим  $L_g$**

**хвилям.** Амплітуда хвиль  $L_g$  є домінуючою на сейсмічних записах від джерел з району Кривого Рогу. Через стабільності відношень амплітуда/відстань для хвиль  $L_g$  в континентальних районах, ця фаза добре підходить для надійних магнітудних оцінок регіональних подій. Згідно з рекомендаціями робочої групи Міжнародної асоціації сейсмології і фізики надр Землі, магнітуда по поверхневій хвилі  $L_g$  визначається за формулою [7]:

$$m_{b_{lg}} = \lg(A) + 0,833 \lg(R) + 0,4343 \gamma (R - 10) - 0,87 \quad (15)$$

де  $A$  – максимальна амплітуда в нм,  $R$  – гіпоцентрально відстань до джерела в км,  $\gamma$  – коефіцієнт затухання в  $\text{км}^{-1}$ , що пов'язаний з добротністю  $Q$  через рівняння:

$$\gamma = \frac{\pi}{QvT} \quad (16)$$

де  $v$  – групова швидкість ( для вибраних станцій  $v = 3,5 \text{ км/с}$  ),  $T$  – період, що відповідає максимальній амплітуді (в діапазоні від 0,7 с до 1,3 с) [7].

Параметр  $\gamma$  залежить від будови земної кори і визначається спеціально для регіону, в якому  $m_{b_{lg}}$

буде використовуватися.

Для регіону Кривого Рогу, з урахуванням розрахованого значення добротності, формула розрахунку магнітуди по поверхневій хвилі  $L_g$  має вигляд [9]:

$$m_{b_{lg}} = \lg(A) + 0,833 \lg(R) + 0,000262 \frac{\pi}{T^{0,47}} (R - 10) - 0,87 \quad (17)$$

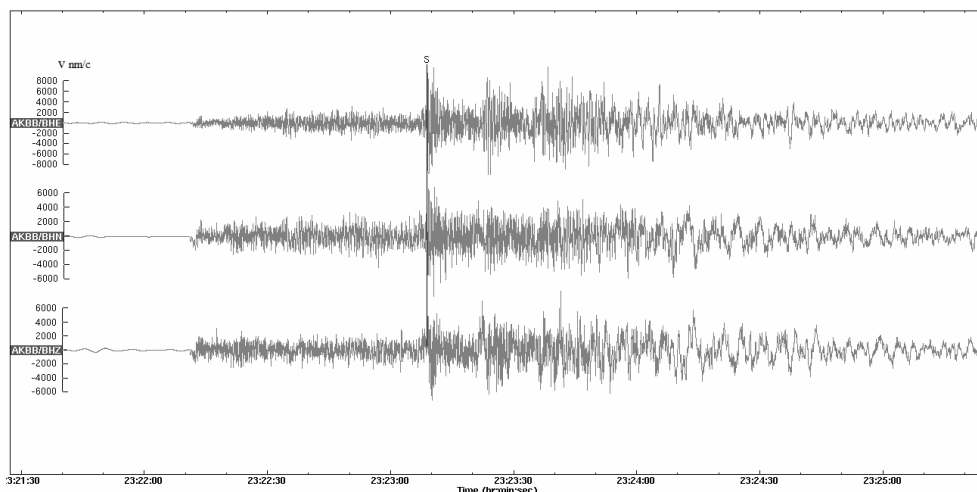


Рис. 1. Запис сейсмічної події 27.12.2016 в районі гір Вранча (Румунія), отриманий з використанням трьохкомпоненти (АКВВ) центрального елемента Української сейсмічної групи.

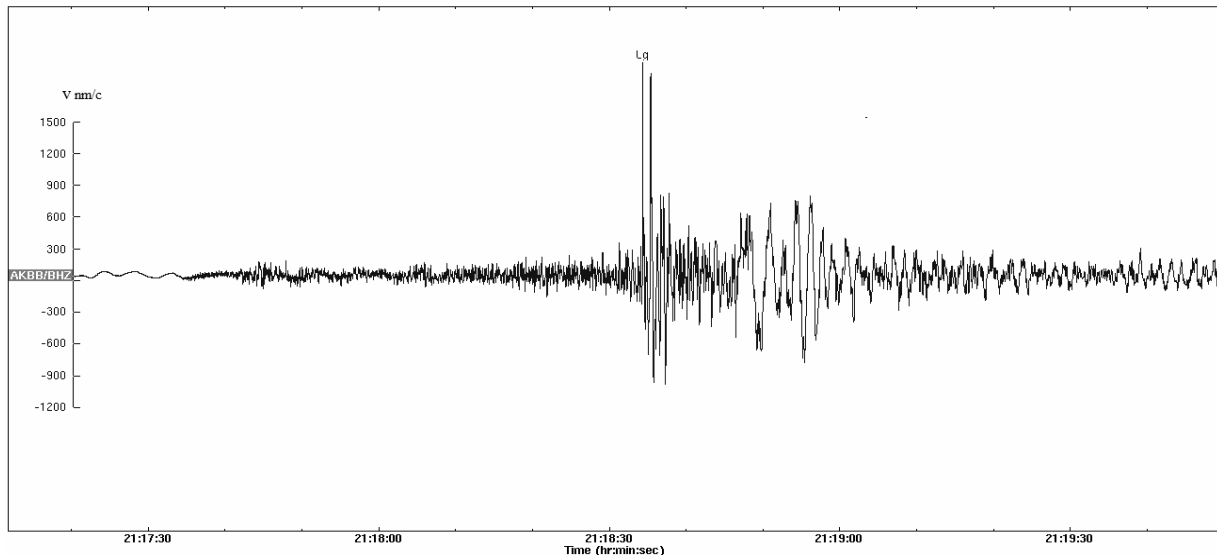


Рис. 2. Запис сейсмічної події 23.06.2013 в районі м. Кривий Ріг, отриманий з використанням вертикальної компоненти (AKBBV) центрального елемента Української сейсмічної групи.

**Висновки.** На основі аналізу записів землетрусів з районів гір Вранча (Румунія), Українських Карпат, Закарпаття, Криму, Східно-Європейської платформи, суміжних з Україною територій уточнені формули розрахунку магнітуди локальних та регіональних сейсмічних подій по об'ємній  $S$  – хвилі та поверхневій  $Lg$  – хвилі.

Отримані емпіричні залежності використовуються для розрахунку магнітуди локальних та регіональних сейсмічних подій.

На практиці розраховані значення магнітуд мають високу порівнянність зі значеннями магнітуд, розрахованими основними світовими сейсмологічними службами.

#### Список літератури

1. Кедров О.К. Сейсмічні методи контролю ядерних випробувань. Інститут фізики Землі РАН, 2005 р. С. 40.
2. Richter C. *Elementary Seismology*. W.H. Freeman, San Francisco, Calif., 1958. - 578 p.
3. Anderson J., Wood O. *Description and theory of the torsion seismometer* // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1925. V. 15. P. 1–72.
4. Hutton L.K., Boore D.M. *The ML scale in Southern California* // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1987. V. 77. № 6. P. 2074–2094.
5. Шаров Н.В., Маловічко А.А., Шукін Ю.К. *Землетруси і мікросейсмічність в задачах сучасної геодинаміки Східно-Європейської платформи. Кн. 1: Землетруси*. Петрозаводськ: Карельський науковий центр РАН, 2007. С. 39.
6. Paige C., Saunders M. *An algorithm for sparse linear equations and sparse least squares* // *ACM Trans. Math. Soft.* 1982. V. 8. № 2. P. 195–209.
7. *Summary of magnitude working group recommendations on standard procedures for determining earthquake magnitudes from digital data*. 2013.
8. Феоділактів В. Д. *Калібрувальна функція для розрахунку магнітуди по об'ємним хвилям на відстанях менше 20°*. Обнінськ: Фонди ГС РАН, 2003, 10 С.
9. Андрущенко Ю.А., Осадчий В.І., Ляшук О.І., Грабченко В.В. *Сейсмічна добротність земної кори північної частини Українського щита*. *Геофізичний журнал* № 4, Т. 38, 2016 – С. 146 – 152.

#### References

1. Kedrov O.K. *Seismic methods monitoring of nuclear tests*. Institute of Earth Physics, RAS, 2005, p. 40.
2. Richter C. *Elementary Seismology*. W.H. Freeman, San Francisco, Calif., 1958. 578 p.
3. Anderson J., Wood O. *Description and theory of the torsion seismometer* // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1925. V. 15. P. 1 – 72.
4. Hutton L.K., Boore D.M. *The ML scale in Southern California* // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1987. V. 77. № 6. P. 2074 – 2094.
5. Sharov N.V., Malovichko A.A., Shchukin Y.K. *Earthquakes and microseismicity in the problems of modern geodynamics of the East European Platform. Kn. 1: Earthquakes*. Petrozavodsk: Karelian research centre, RAS, 2007. P. 39.
6. Paige C., Saunders M. *An algorithm for sparse linear equations and sparse least squares* // *ACM Trans. Math. Soft.* 1982. V. 8. № 2. P. 195 – 209.
7. *Summary of magnitude working group recommendations on standard procedures for determining earthquake magnitudes from digital data*. 2013.
8. Theophilactov V. D. *Calibration function for calculating the magnitude of volumetric waves at distances less than 20 °*. Obninsk: Funds of the RAS, 2003, 10 P.
9. Andrushchenko Y.A., Osadchiy V.I., Lyashchuk O.I., Grabchenko V.V. *Seismic quality factor of the earth's crust of the northern part of the Ukrainian shield*. *Geophysical Journal* № 4, T. 38, 2016 – P. 146 – 152.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТУДЫ ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ЛОКАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

Осадчий В.И., Грабченко В.В., Шапка В.Н.

Для получения достоверных данных о энергетических параметрах локальных и региональных сейсмических событий их анализа и оценки последствий на территории Украины, по записям от землетрясений из районов гор Вранча (Румыния), Украинских Карпат, Закарпатья, Крыма, Восточно-Европейской платформы, сопредельных с Украиной территорий уточнены формулы расчета магнитуды по объемной S и поверхностной Lg волнах. На основе полученных данных внесены дополнения к существующему программно-математическому обеспечению для расчета энергетических параметров сейсмических событий в зонах установленной ответственности.

**Ключевые слова:** сейсмическое событие, источник землетрясения, магнитуда, локальная магнитуда, калибровочная функция.

## **DETERMINATION OF THE MAGNITUDE OF THE SOURCE OF SEISMIC EVENTS AT LOCAL AND REGIONAL DISTANCES**

V.I. Osadchiy, V.V. Grabchenko, V.M. Shapka

For reliable data on the energy parameters local and regional seismic events, their analysis and assessment of the effects on the territory of Ukraine, according to the records of earthquakes from the regions of the Vrancea Mountains (Romania), Ukrainian Carpathians, Transcarpathia, Crimea, Eastern European Platform, adjacent to Ukraine Territories have specified the formulas for calculating the magnitude of the bulk S - wave and the surface Lg - wave. On the basis of the received data, supplements to the existing software and mathematical support for calculating the energy parameters of seismic events in the zones of established responsibility were introduced.

**Keywords:** seismic event, source of earthquake, magnitude, local magnitude, gauge function.

УДК: 534.2

Смірнов О.Е., Телецький О.М.

Регіональний центр спеціального контролю, Україна, с. Ластівці

## РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕЄСТРАЦІЇ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ІНФРАЗВУКОВИХ ЗБУРЕНЬ РЕГІОНАЛЬНИМ ЦЕНТРОМ СПЕЦІАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

*РЦСК здійснює цілодобовий моніторинг геофізичної ситуації, використовуючи сейсмічні, акустичні та магнітні засоби виявлення. Використання мало апертурної акустичної групи МААГ-2 сприяє оперативній ідентифікації та локалізації джерел геофізичних збурень. Стаття описує шляхи покращення надійності реєстрації сейсмічних коливань, використовуючи результати акустичних вимірювань. Пропонується для підвищення надійності визначення координат місця збурення збільшити апертуру приймачів від 100 м до 550 м. Це відкриє нові можливості реєстрації добових коливань тиску в атмосфері, а також перепадів тиску, спричинених циклонічною діяльністю. Перспективами дослідження є модернізація акустичної групи, розширення меж її чутливості, розширення спектру зареєстрованих сигналів, підвищення точності визначення азимуту джерела інфразвукових збурень.*

**Ключові слова:** спостереження, реєстрація, геофізичні збурення, інфразвук, мало апертурна акустична група.

**Вступ.** Однією із ключових проблем сейсмічних спостережень є проблема розрізнення сигналів від землетрусів та промислових вибухів [1]. Аналізуючи лише сейсмічні дані для багатьох сигналів буває неможливо достовірно встановити природу джерела сигналу, оскільки критерії оцінки сигналів не мають абсолютного характеру [5]. Тому крім сейсмічного методу спостережень доцільно користуватись іншими геофізичними методами, зокрема інфразвуковим. Для інфразвуку характерне мале поглинання в різних середовищах. Наслідком цього є можливість реєстрації атмосферних сигналів від подій, що відбулися на великій відстані від пункту спостереження. Можливості ідентифікації промислових вибухів за допомогою інфразвукових даних активно досліджують у світі [2, 3, 4, 7, 8]. Отже, питання визначення можливості застосування даних інфразвукового моніторингу РЦСК для вирішення завдань ідентифікації природи сейсмічних подій є актуальним.

Також актуальною є проблема точної локалізації подій антропогенного походження (промислових вибухів, техногенних аварій та катастроф). Багаторічний досвід вивчення сейсмічних сигналів від вибухів у кар'єрах на території України показав, що фактична точність локалізації джерела по сейсмічним даним і велика щільність кар'єрів на підконтрольній території не завжди дає задовільну похибку - вона часто може досягати відстані між кар'єрами. Для підвищення точності пропонується використовувати додаткові джерела інформації, якими повинні стати інфразвукові сигнали від промислових вибухів.

В статті [2] показано, що за допомогою мало апертурної акустичної групи можливо з достатньою точністю визначати азимут на джерело сигналу. Однак, для локалізації джерела події необхідно визначити і відстань. Горизонтальна швидкість поширення інфразвукової хвилі, за допомогою якої можна обчислити пройдений шлях, залежить від багатьох факторів (характер місцевості, пори року, погодних умов, напрямку вітру і т.д.). Знаючи

значення цієї швидкості, час вступу інфразвукової хвилі у пункті спостереження та час у джерелі (по сейсмічним даним), можна локалізувати джерело сигналу в першому наближенні (первинна локалізація). В подальшому результати цієї оцінки можна використовувати для моделювання шляхів поширення інфразвуку методом  $\tau$ - $\rho$  [6] та отримувати уточнені азимут та вертикальну швидкість.

Регіональний центр спеціального контролю (РЦСК), окрім сейсмічних датчиків, володіє комплексом геофізичних засобів моніторингу, зокрема мало апертурною акустичною групою (МААГ-2). Це комплекс з трьох і більше просторово рознесених незалежних мікробарографів (акустичних станцій К-304А), системи збору та передачі даних, їх обробки і збереження. Діапазон робочих частот МААГ-2 нижчий за поріг чутливості людського слуху і становить 0,003-12 Гц. Режими чутливості станцій - 1, 10, 100 Па. МААГ-2 - чотириелементний масив мікробарографів, розміщений поблизу с. Ластівці Кам'янець-Подільського р-ну Хмельницької обл. Характер місцевості горбистий із загальним перепадом висот на всій площі апертури МААГ-2 до 5м. Усі елементи МААГ-2 знаходяться на відкритій місцевості в полі. Конфігурація елементів має форму рівностороннього трикутника із четвертим елементом у центрі.

До входів кожного з мікробарографів через об'єм усереднення підключено завадо захисний пристрій (ЗЗП) типу «Павук» для покращення відношення сигнал-шум. ЗЗП відіграє основну роль у процесі зниження завад від приземного вітру та турбулентності. Із виходів мікробарографів електричні сигнали по кабелях передають до аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і далі до робочої станції (ПК), де здійснюються накопичення інформації у визначеному форматі, її первинна обробка, синхронізація часу по GPS і передача даних до обчислювального центру Головного центру спеціального контролю (ГЦСК). Далі проводиться

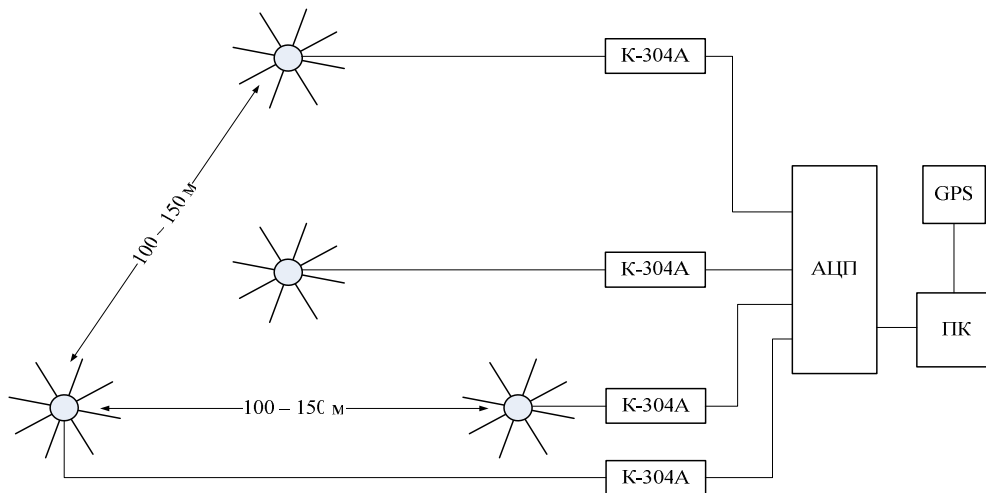


Рис. 1. Діюча структурна схема малоапертурної акустичної групи

повна обробка інформації, що включає оцінки часових, частотних і просторових характеристик сигналів. На рис. 1 показано діючу структурну схему МААГ-2. Дані з МААГ-2 надходять до Міжнародної системи моніторингу (МСМ).

В даний час проводиться комплекс робіт по збільшенню апертури МААГ-2 від 100 м до 550 м, що дасть змогу суттєво понизити нижню межу діапазону пропускання акустичних сигналів.

Очікуються нові можливості реєстрації добових коливань тиску в атмосфері, а також перепадів тиску, спричинених циклонічною діяльністю (мікробароми).

**Висновки.** Проблема реєстрації та ідентифікації джерел геофізичних збурень акустичними групами активно розвивається у світі. РЦСК має у своєму розпорядженні малоапертурну акустичну групу МААГ-2, яка добре себе зарекомендувала при виявленні інфразвукових збурень різної природи. У перспективі дослідження шляхів модернізації акустичної групи, розширення меж її чутливості, розширення спектру зареєстрованих сигналів, підвищення точності визначення азимуту джерела інфразвукових збурень.

### Список літератури.

1. Андрущенко Ю. А., Гордієнко Ю. О. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів та землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини України. *Геофіз. журн.* 2009а. Т. 31. № 3. С. 121-129.
2. Асминг В. Э., Евтугина З. А., Виноградов Ю. А., Федоров А. В. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками. *Вестник МГТУ.* 2009. Т. 12. № 2. С. 300-307.
3. Виноградов Ю. А. Комплексное применение сейсмического и инфразвукового методов регистрации волновых полей для выделения сигналов от наземных взрывов в процессе мониторинга природной среды в Евро-Арктическом регионе: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 2004, 26 с.
4. Дубровин В. И., Смирнов А. А. Совместное использование инфразвуковых и сейсмических данных для повышения точности локализации. *Вестник НЯЦРК.* 2011. Вып. 3. С. 140-144.
5. Ляшчук О. І., Андрущенко Ю. А., Гордієнко Ю. О., Карягін Є. В., Корнієнко І. В. Можливість використання даних інфразвукового моніторингу під час ідентифікації природи сейсмічних подій. *Геофіз. журн.* - 2015. - 37, № 6. - С. 105-114.
6. Garces, M. A. Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere / M. A. Garces, R. A. Hansen, K. G. Lindquist // *Geoph. J. Int.*, 1998. - P. 135, 255-263.
7. Gibbons S. J., Ringdal F., Kverna T., 2007. Joint seismic-infrasonic processing of recordings from a repeating source of atmospheric explosions. *J. Acoust. Soc. Am.* 122 (5), 158-164. doi: 10.1121/1.2784533.
8. Hagerty M. T., Kim W.-Y., Martyshevich P., 2002. Infrasound detection of large mining blasts in Kazakhstan. *Pure Appl. Geophys.* 159, 1063-0179.

### References:

1. Andrushchenko Yu. A., Hordiienko Yu. O. Analiz efektyvnosti zastosuvannya kryteriiv identyfikatsii vybukhiv ta zemletrusiv dlia lokalnykh ta rehionalnykh podii v umovakh platformnoi chastyny Ukrainy. *Heofiz. zhurn.* 2009a. T. 31. № 3. S. 121-129.
2. Asming V. E., Yevtyugina Z. A., Vinogradov Yu. A., Fedorov A. V. Analiz infrazvukovykh signalov, generiruemyykh tekhnogennymi istochnikami. *Vestnik MGTU.* 2009. T. 12. № 2. S. 300-307.
3. Vinogradov Yu. A. Kompleksnoe primeneniye seysmicheskogo i infrazvukovogo metodov registratsii volnovykh poley dlya vydeleniya signalov ot nazemnykh vzryvov v protsesse monitoringa prirodnoy sredy v Yevro-Arkicheskoy regione: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Moskva, 2004, 26 s.
4. Dubrovin V. I., Smirnov A. A. Sovmestnoe ispolzovanie infrazvukovykh i seysmicheskikh dannykh dlya povysheniya tochnosti lokalizatsii. *Vestnik NYaTsRK.* 2011. Vyp. 3. S. 140-144.
5. Liashchuk O. I., Andrushchenko Yu. A., Hordiienko Yu. O., Kariagin Ye.V., Kornienko I.V. Mozhyvist vykorystannia danykh infrazvukovoho monitoryngu pid chas identyfikatsii pryrody seysmichnykh podii. *Heofiz. zhurn.* - 2015. - 37, № 6. - S. 105-114.
6. Garces, M. A. Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere / M. A. Garces, R. A. Hansen, K. G.



*Lindquist // Geoph. J. Int., 1998. - P. 135, 255 - 263.*

*7. Gibbons S. J., Ringdal F., Kväerna T., 2007. Joint seismic- infrasonic processing of recordings from a repeating source of atmospheric explosions. J. Acoust. Soc. Am. 122 (5), 158-164. doi: 10.1121/1.2784533.*

*8. Hagerty M. T., Kim W.-Y., Martysevich P., 2002. Infrasound detection of large mining blasts in Kazakhstan. Pure Appl. Geophys. 159, 1063-0179.*

## **РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕГИСТРАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ СПЕЦИАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

Смирнов А.Э., Телецкий О.Н.

РЦСК осуществляет круглосуточный мониторинг геофизической ситуации, используя сейсмические, акустические и магнитные средства обнаружения. Применение мало апертурной акустической группы МААГ-2 способствует оперативной идентификации и локализации источников геофизических возмущений. Статья описывает пути улучшения надежности регистрации сейсмических колебаний, используя результаты акустических измерений. Предлагается для повышения надежности определения координат места возмущения увеличить апертуру приемников со 100 м до 550 м. Это откроет новые возможности для регистрации суточных колебаний давления в атмосфере, а также перепадов давления, вызванных циклонной деятельностью. Перспективами исследования является модернизация акустической группы, расширение границ ее чувствительности, увеличение спектра зарегистрированных сигналов, повышение точности определения азимута источника инфразвуковых возмущений.

**Ключевые слова:** наблюдения, регистрация, геофизические возмущения, инфразвук, мало апертурная акустическая группа.

## **EXPANSION OF THE POSSIBILITIES FOR RECORDING LOW-FREQUENCY INFRASOUND DISTURBANCES BY THE REGIONAL SPECIAL CONTROL CENTER**

O.E. Smirnov, O.M. Teletskyi

The RSCC carries out round-the-clock monitoring of the geophysical situation using seismic, acoustic and magnetic detection means. The use of a small aperture acoustic group MAAG-2 facilitates the operational identification and localization of sources of geophysical perturbations. The article describes ways to improve the reliability of seismic vibration registration using the results of acoustic measurements. It is proposed to increase the reliability of determining the coordinates of the disturbance site to increase the aperture of receivers from 100 m to 550 m. This will open new possibilities for recording diurnal variations in pressure in the atmosphere, as well as pressure drops caused by cyclonic activity. Prospects for the study are the modernization of the acoustic group, the expansion of its sensitivity limits, and increase in the spectrum of recorded signals, increase in the accuracy of determining the azimuth of the source of infrasonic perturbations.

**Keywords:** observations, registration, geophysical perturbations, infrasound, little aperture acoustic group.

УДК 550.34

Ситник В.Г.

Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ, смт. Городок

## СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ ГЦСК

*Для побудови автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО) в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю та ефективної інтеграції до Єдиної АСКРО, підготовлено технічну пропозицію зі створення моделі АСКРО ГЦСК за допомогою засобів радіаційного контролю вітчизняного виробництва, що відповідає сучасним вимогам, які пред'являються до систем радіаційно-екологічного моніторингу.*

*В публікації, надана коротка характеристика стану існуючої системи, її структура та недоліки. Розкрито причини необхідності створення АСКРО в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю. Визначена мета та основні функції АСКРО ГЦСК. Надані пропозиції щодо складу, структури, опису та характеристик АСКРО. Наведений перелік та опис складових частин системи, які плануються для її створення.*

*Реалізація даної пропозиції дозволить виконувати всі необхідні функції контролю, що виконуються старою системою, так і велика кількість інших, з більшою надійністю, точністю, інформативністю та оперативністю. Створена АСКРО забезпечить документування, зберігання, якісну і швидку обробку результатів контролю для виконання завдань високотехнологічного автоматичного моніторингу, при необхідності дозволить вільно нарацювати точки контролю, легко адаптуватися до наявних і проєктованих систем, доповнюватися новими параметрами контролю.*

**Ключові слова:** радіоактивне забруднення, рівень гамма-випромінювання, потужність дози випромінювання, радіаційний моніторинг.

**Вступ.** Сьогодні на території України знаходяться велика кількість радіаційно-небезпечних об'єктів (РНО) і ділянки з підвищеним рівнем радіаційного забруднення, викликаного Чорнобильською аварією. Рада національної безпеки і оборони прийняла рішення про створення державної автоматизованої системи радіаційного контролю, яке було введено в дію Указом Президента № 585/2011 від 12.05.2011 року [1], а Кабінет Міністрів видав розпорядження № 44-р від 25.01.2012 року «Про затвердження плану заходів щодо створення Єдиної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки на період до 2015 року» [2]. Окремих завданням Плану заходів передбачено: «Модернізація системи радіонуклідного моніторингу Головного центру спеціального контролю ДКА та її інтеграція до Єдиної системи» (пункт 8 цього плану).

Модернізація системи полягає на істотному поліпшенні параметрів виміру гамма-фону, метеорологічних параметрів та забруднення аерозолями на території пунктів дислокації в місцях установки постів контролю.

Аналізуючи вимоги сьогодення, стає зрозуміло, що не можна розробити ефективну систему контролю радіаційної обстановки в установі лише збільшенням та поєднанням пунктів контролю без її технічного розвитку. На даний час система спостережень ГЦСК є технічно недосконалою і потребує суттєвого переоснащення. Тому, саме на технічний розвиток і удосконалення системи збору, аналізу, обробки даних спостережень, суттєве покращення засад інформаційного обміну, а також на координацію і оптимізацію радіонуклідного моніторингу і контролю, має бути спрямована робота.

Основним напрямком розвитку системи має стати оптимізація і спеціалізація пунктів спостережень націлених на ті завдання, що покладені на установу. Згідно покладених завдань «Національне космічне агентство України здійснює контроль національними технічними засобами за радіаційною обстановкою в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю» [3].

Відповідно до сучасних вимог система має бути обладнана автоматизованою системою контролю радіаційної обстановки. Просторовий розподіл пунктів спостережень установи має бути достатнім для адекватного аналізу ситуації як для нормальних умов експлуатації, так і для умов будь-якої аварійної ситуації в цілому.

З метою ефективного використання система повинна бути створена на сучасній елементній базі та системі збору і комутації даних та повинна мати можливість розширення елементної бази (збільшення постів спостережень та іншими можливостями для розширення функціональності).

Так як при радіаційному контролі довілля переважним є завдання виміру наявності радіонуклідних компонент у повітрі, то перш за все це оцінка та аналіз фонових рівнів радіоактивного забруднення природного середовища за показниками ПЕД та радіонуклідного забруднення атмосферних аерозолів.

Дана пропозиція по розробці моделі системи контролю радіаційної обстановки ГЦСК заснована на вимогах діючих українських норм і стандартів. Устаткування радіаційного контролю, запропоноване в цій роботі, національного виробництва.

Структура наявної системи. Існуюча система призначена для здійснення контролю за

радіаційною обстановкою в пунктах дислокації підрозділів спеціального контролю шляхом виміру ПЕД і концентрації радіоактивних речовин у повітрі.

Система забезпечує контроль гама-фону, виявлення вмісту радіонуклідів в атмосфері, їх ідентифікація, фіксація перевищення контрольних рівнів та інформування відповідних органів державної влади.

Складається система з мережі постів контролю, які розташовані в місцях дислокації підрозділів спеціального контролю, на пунктах спостереження (ПС) - «Городок», «Малин», «Кам'янець-Подільський», «Балта» та «Ужгород».

Постами контролю здійснюється контроль потужності дози гамма-випромінювання (ПЕД) та концентрації радіоактивних речовин у повітрі.

Для виконання контролю ПЕД:

в ПС «Городок» та в ПС «Кам'янець-Подільський» вимірювання ведуться в безупинному автоматичному режимі, а отримана інформація, за допомогою програмно-математичних засобів надсилається до серверу баз даних ГЦСК. Для виміру застосовується блок детектування гамма-випромінювання БДБГ-09;

в ПС «Балта» та «Ужгород» вимірювання ведуться періодично, кожні 6 годин станом на 03.00, 09.00, 15.00 та 21.00. Для виміру застосовується дозиметр - радіометр МКС-05 «ТЕРРА».

Дані про вимірювання відображаються на веб-сторінці ГЦСК (<https://gcsk.gov.ua/radionuklidnij-monitoring/>) у табличному вигляді і в режимі реального часу доступні для перегляду.

Контроль за концентрацією радіоактивних речовин у повітрі здійснюється періодично (планово) та при перевищенні контрольних рівнів ПЕД в пунктах спостереження установи, РНО України та на території суміжних держав.

Виміри виконуються шляхом фільтрації повітря аспіраційними установками через знімний марлевий фільтр з подальшим спектрометричним аналізом проби в лабораторних умовах на ПС «Городок». Відбір проб атмосферного повітря здійснюється в пунктах спостереження «Городок», «Малин» та «Кам'янець-Подільський». Для аспіраційного відбору аерозольних проб застосовуються фільтровентиляційні установки, а для їх аналізу використовуються багатоканальні спектрометри з сцинтиляційними блоками детектування гамма - і бета - випромінювання (спектрометр енергій гамма-випромінювання сцинтиляційній СЕГ-001 «АКП-С» - 63 та спектрометр енергій бета-випромінювання сцинтиляційний СЕБ-01-70) та персональним комп'ютером з ПЗ для обробки спектрометричної інформації. При цьому основним завданням аналізу радіоактивних проб є визначення складу та активності радіонуклідів в пробах, що аналізуються.

В ПС «Городок» здійснюється контроль метеорологічних параметрів.

Для виміру метеорологічних параметрів середовища застосовується електронна метеостанція HUGER WM-918. Електронна система контролю метеорологічних параметрів WM-918 здійснює оперативні виміри синоптичних параметрів природного середовища - швидкість і напрям вітру, температура і відносна вологість атмосферного повітря, тиск, кількість опадів. Результати вимірів і прогноз погоди на найближчу добу відображаються на дисплеї. ПЕОМ, що приєднана до метеостанції, відсилає отримані дані до серверу баз даних ГЦСК з інтервалом в 15 хвилин в автоматичному режимі. Інформація відображається на внутрішньому сайті ГЦСК, веб-сторінці «Метеорологічні дані» (<http://www.gcsk/meteo/index.php>).

Недоліки існуючої системи. Спостереження за радіаційною обстановкою ведуться періодично, що не дозволяє оперативно одержувати інформацію з усіх постів контролю та проводити систематичний аналіз даних, так:

немає постійного цілодобового вимірювання ПЕД для оперативного аналізу дозиметричної обстановки в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю. Вимірювання рівня радіації та надання доповідей за результатами вимірів проводиться лише у чотирьох пунктах спостережень (із них 2-а у ручному режимі);

відсутні спеціальні програми та пристрої для зчитування результатів вимірів з дозиметрів для перенесення в базу даних;

відбір проб аерозолів з приземного шару повітря здійснюється періодично (планово) та при перевищенні контрольних рівнів ПЕД і тільки у трьох пунктах спостережень;

збір даних, обробка інформації, збереження, архівація даних та аналіз стану радіаційної обстановки за даними моніторингу в масштабі реального часу не здійснюється.

Для обробки спектрометричної інформації використовується морально застарілий комп'ютер типу IBM PC з шиною ISA материнської плати (розробки 1980-х років), де системні ресурси украй обмежені.

Наземні фільтрувальні установки виготовлені силами інженерного складу установ, морально застаріли та фізично зношені, працюють у ручному режимі та не мають таких необхідних параметрів, як установка необхідного сумарного об'єму прокачаного повітря через фільтр, установка необхідної швидкості прокачування, цілісності фільтру та індикації стану витратоміру.

Не можливо виконувати прогноз радіаційної обстановки за відсутністю достатнього технічного, метеорологічного обладнання та самого програмного розрахункового комплексу прогнозу радіаційної обстановки, за допомогою якого можливо проводити обробку і візуалізацію розрахунків метеорологічних та радіонуклідних даних, для модулювання перенесення радіонуклідів в атмосфері з метою подальшого ухвалення рішень. Тому, розробка різних

вірогідних сценаріїв розвитку подій, при виявленні перевищення контрольних рівнів, неможлива.

Не здійснюється інформаційний обмін із зовнішніми системами та засобами для достовірного виконання покладених завдань.

Причини необхідності створення АСКРО ГЦСК. На даний час сучасний стан системи радіонуклідного моніторингу ГЦСК потребує суттєвого розвитку та переоснащення. Технічні можливості системи є досить обмеженими, а технічні характеристики та склад устаткування системи ГЦСК не задовольняють сучасним вимогам для подальшого забезпечення участі і інтеграцію до ЄАСКРО. Тому на нинішньому етапі модернізація системи радіонуклідного моніторингу представляється лише як повна поетапна заміна всього устаткування. Насамперед, потрібний сучасний комплекс технічних засобів, на базі якого створити АСКРО, який забезпечить високу надійність, оперативність, якість контролю і надання інформації.

АСКРО на сьогоднішній день є найоптимальнішою схемою збору, обробки, зберігання і надання інформації про стан доквілля. Головна перевага системи в тому, що вона дозволяє отримувати дані в режимі реального часу.

АСКРО збирає інформацію у режимі реального часу, довгостроково її зберігає і надає поточну і ретроспективну інформацію про метеорологічні параметри та радіаційний стан у встановлених місцях контролю. Такого об'єму інформації достатньо, щоб зробити висновок про перевищення або неперевищення допустимих рівнів, встановлених у «Нормах радіаційної безпеки України» [4] для персоналу і населення в місцях дислокації.

Мета створення. Метою створення АСКРО ГЦСК є підвищення рівня радіаційної безпеки шляхом автоматизації процесів вимірювання, збору, обробки візуалізації, архівування і зберігання інформації про параметри радіаційної обстановки (РО) в місцях дислокації об'єктів спеціального контролю.

**Основні функції АСКРО установи:** здійснення безперервного контролю РО в пунктах дислокації об'єктів спеціального контролю в обсязі, достатньому для оперативного висновку про відповідність/невідповідність РО вимогам нормативних документів, що визначають заходи та порядок забезпечення радіаційної безпеки;

забезпечення достовірною інформацією про РО в навколишньому середовищі та прогнозуванні змін РО в часі (при наявності спеціального ПЗ і засобів), а також для отримання інформації необхідної для визначення активності і складу радіонуклідів, які поступили за межі ГЦСК;

надання рекомендацій при прийнятті рішень для ліквідації/ослаблення радіаційних наслідків аварії.

Склад, структура та технічні засоби системи АСКРО. Основними складовими частинами АСКРО є: автоматизований пост контролю (АПК); оперативно-диспетчерський центр (ОДЦ); станція

метеорологічних параметрів; система зв'язку.

Структура АСКРО. Система представляє трирівневу розподілену структуру технічних та програмних засобів.

Нижній рівень призначений для: вимірювання фізичних параметрів і величин в автоматичному режимі; перетворення сигналів з датчиків; попередньої обробки сигналів і перетворення в інформаційний потік; первинної обробки інформації з датчиків; формування і передачі інформаційних пакетів на верхній рівень в оперативно-диспетчерський центр (ОДЦ) збору і обробки інформації АСКРО. До нижнього рівня відносяться технічні засоби АПК АСКРО. Залежно від завдання моніторингу АПК можуть мати різну конфігурацію.

Збір інформації про радіаційну обстановку на нижньому рівні здійснюється за допомогою технічних та програмних засобів, об'єднаних в АПК.

Середній рівень призначений для: збору даних з апаратури нижнього рівня в масштабі реального часу; збереження, архівації даних і автоматичного резервування; обробки інформації по заданих алгоритмах управління системи; ведення протоколів оперативного обслуговування і технічного стану системи; функціонального автоматичного контролю апаратури нижнього і середнього рівня. До середнього рівня відносяться технічне устаткування і програмні засоби ОДЦ, що виконує перераховані вище операції і функції.

Верхній рівень призначений для: інформаційного обміну із зовнішніми системами і засобами; проведення діагностики технічних засобів нижнього і середнього рівня; візуалізація даних системи моніторингу для ухвалення рішень персоналом ОДЦ АСКРО; зміни завдань моніторингу залежно від радіаційно-екологічної обстановки; аналізу стану РО за даними моніторингу; ухвалення рішень і видача рекомендацій для мінімізації впливу радіоактивного зараження на людину і довкілля. Для виконання завдань верхнього рівня передбачається комплекс технічних, програмних, інтелектуальних та організаційних ресурсів.

**Створення моделі за допомогою засобів національного виробництва.** У рамках даної пропозиції запропоновано засоби радіаційного контролю вітчизняного виробника торгової марки «ЕКОТЕСТ» [5] і аспіраційна установка радіоактивних аерозолів виробництва корпорації «Українські атомні прилади та системи» («Укратомприлад») [6].

Засоби моделі системи контролю радіаційної обстановки ГЦСК. Блок детектування гамма-випромінювання БДБГ-09 (надалі за текстом – блок детектування). Блок детектування призначений для вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози (надалі - ПЕД) гамма-випромінювання [7].

Блок детектування застосовується в складі інформаційних табло та автоматизованих систем

радіаційного моніторингу і вже не один рік успішно використовується на атомних електростанціях України, Франції, Болгарії та Кореї.

Особливості: обмін інформацією між блоком детектування та системою відображення інформації здійснюється через інтерфейс RS-485; постійне самостійне тестування; наявність інформації про статистичну похибку вимірювання; ступінь захисту оболонки IP67; середній строк служби блока детектування - не менше десяти років.

Наявність технологічного програмного забезпечення призначеного для індикації в реальному масштабі часу ПЕД та може застосовуватися організаціями для ремонту й перевірки блоків детектування.

**Метрологічне забезпечення.** АСКРО є вимірювальною і інформаційною системою. Основний елемент вимірювальної системи – блок детектування БДБГ-09, який внесений до Державного реєстру вимірювальних засобів України.

Сертифікат відповідності типу засобів вимірювальної техніки № UA-MI/1p-1717-2005 від 15 серпня 2005 р. Сертифікат відповідності засобів вимірювальної техніки затвердженому типові № UA-MI/2p-4504-2014 від 18 серпня 2014 р.

Номер у Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки У2071-05.

Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 05.03.02-04/90055 від 19.11.2010 р. ТУ У 33.2-22362867-009:2004 погоджено ДКЯР України (клас ЗН для АЕС). Відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008, ДСТУ ІЕС 61000-4-3:2007, ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008.

**Інформаційне табло IT-09T** (далі - табло) призначене для відображення результатів вимірювання ПЕД, які отримані від блока детектування гамма-випромінювання БДБГ-09, звукової та світлової сигналізації при перевищенні порогових рівнів ПЕД, а також для відображення реального часу і температури навколишнього середовища та для електроживлення блока детектування [8].

Інформаційне табло IT-09T з блоком детектування БДБГ-09 та спеціалізованим програмним забезпеченням дозволяють створити автоматизовану систему для цілодобового безперервного моніторингу радіаційного фону і можуть застосовуватись на об'єктах цивільного захисту, на радіаційно-небезпечних об'єктах, а також в місцях скупчення людей (на вокзалах, станціях метрополітену, супермаркетах тощо) для інформування персоналу чи населення про радіаційний стан довкілля.

Для комплексного контролю за об'єктами табло з блоками можна розміщати як назовні, так і всередині. Відстань між табло та блоком може досягати 50м. Усі дані безперервно передаються на персональний комп'ютер, що дозволяє централізовано стежити за усіма об'єктами.

При перевищенні порогових рівнів потужності гамма-випромінювання спрацюють звукова та

світлова сигналізація.

Вже не один рік табло IT-09T з блоком БДБГ-09 успішно використовується на атомних електростанціях України, Болгарії та Кореї. Їх активно застосовують служби з надзвичайних ситуацій та цивільної оборони, а також силові відомства. IT-09T знаходиться на озброєнні української армії, внесений до таблиці оснащення підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Середній строк служби табло не менше ніж 10 років. Табло відповідає вимогам ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.2.007.0-75 пожежної безпеки.

Табло має наступні режими роботи: відображення вимірюваних ПЕД гамма-випромінювання, температури та реального часу; перегляд порогових рівнів; зміна значень порогових рівнів; зміна значення реального часу.

Станція збору та передачі дозиметричної інформації (далі – станція моніторингу) призначена для обробки та прийому/передачі даних.

У склад основного устаткування станції моніторингу входить: блок обробки та прийому/передачі даних; антено-фідерний пристрій (для передачі даних по радіоканалу).

Станція моніторингу – електротехнічний щит розмірами 600x800x250мм в зборі, до якого приєднується живлення 220В, антена GPRS та блок БДБГ-09.

В щит входить модуль приймання даних від БДБГ-09, контролер, який керує процесом передачі приймання даних, GPRS- модуль, безперебійний БЖ.

Щит збирається під замовлення на базі спеціалізованих пристроїв і рішень в галузі промислової автоматизації компанії SIEMENS. У даному випадку після запуску в експлуатацію станція працює повністю автоматично, тобто з певною періодичністю (задану з сервера), передає дозиметричну інформацію. Інтервал часу визначає замовник, і його можна змінювати.

Вартість експлуатації буде визначатися ціною трафіка мобільного Інтернету оператора, а трафік визначає замовник (частота встановлення з'єднання і передача посилки). GPRS модуль максимум може передати 2КБ даних за 1 послілку. У даному випадку передача здійснюватиметься декількох змінних, тобто об'єм складе декілька сотень байт. На стороні сервера потрібне постійне підключення до Інтернету через статичну IP адресу.

Пакет програмного забезпечення включає пакет для забезпечення передачі даних і з'єднання з сервером, а також програмний пакет візуалізації і збереження даних для сервера.

**Аспіраційна установка.** Окремим елементом моделі АСКРО є аспіраційна установка радіоактивних аерозолів (АУРА) – умовне найменування АУ. Данні установки планується розмістити майже в тих же місцях, що і пункти моніторингу радіаційного фону.

Призначення АУ – безперервний пробовідбір

аерозолів з приземного шару повітря методом прокачування його через аналітичний фільтр, облік кількості прокачаного об'єму, оперативна оцінка аерозолів, що попадають на фільтр, і передача інформації в оперативно-диспетчерський центр для проведення подальших розрахунків. Це автономний пристрій з безперервним контролем параметрів повітря, що прокачується і діагностикою установки.

АУ призначена для роботи в будівлях, закритих приміщеннях та захисних будиночках; для осаджень з атмосферного повітря природних (в основному продуктів розпаду радону) і штучних (техногенних) радіонуклідів, в першу чергу  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$ , і може бути використана як автономно, так і у складі автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки.

Корпорацією «Укратомприлад» розроблені та виготовлені аспіраційні установки радіоактивних аерозолів АУРА-02 і АУРА-05. Розглянемо АУРА-02.

Аспіраційна установка АУРА-02 призначена для безперервного осадження аерозолів з приземного шару повітря на аналітичний фільтр шляхом прокачування повітря з виміром витрати і кількості прокачаного повітря; передачі інформації про витрату і стан установки в ОДЦ для контролю і управління установкою, архівації даних в мікроконтролері установки. Мають місце різні типи АУ.

Установка забезпечує: контроль і вимір витрати повітря; контроль стану фільтру по натиску повітря; облік сумарної витрати повітря, прокачаного через фільтр; контроль наявності фаз живлячої напруги; автоматичний вибір кращої фази, від якої живиться установка; відключення електроживлення поста по сигналу датчика пожежної сигналізації; контроль за відкриттям/закриванням входних дверей поста і електрошафи; контроль температури усередині поста і усередині електрошафи; дистанційне керування вентилятором (відкриттям/закриванням); контроль за роботою вентилятора; підключення блоку детектування потужності дози або активності води; наявність датчика диму; архівацію всіх даних установки.

Установка повністю автономна і може працювати як по запрограмованому з переносного ПК алгоритму (при цьому зчитування інформації здійснюється з переносного ПК), так і у складі автоматизованої системи з управлінням і контролем ЦПК.

Метеостанція. До складу моделі системи входять метеостанції. Метеостанція включена до складу АПК і призначена для коректної оцінки дії забруднюючої домішки в атмосфері (незалежно від того, чи є вона хімічною або радіоактивною). Необхідні для такої оцінки дані метеорологічних параметрів атмосфери і сигналів статусу апаратури знімаються з датчиків метеорологічних параметрів, що входять до складу метеостанції. Розміщений під одним радіозахисним ковпаком метеостанції комплекс датчиків забезпечує

проведення контролю метеорологічних параметрів атмосфери: модуль датчиків виміру атмосферного тиску; температури навколишнього повітря; вологості атмосфери; датчик швидкості та напрямі вітру; датчик опадів.

Метеорологічні датчики розміщуються на щоглі (антені) біля будівлі.

Датчики метеостанції об'єднуються в цілісну систему виміру і обміну даними за допомогою внутрішнього програмного забезпечення загального мікроконтролера зі вбудованою системою якості вимірів та статусу устаткування. Об'єднана інформація з метеостанції по каналу зв'язку поступає в ОДЦ АСКРО в режимі on-line, що забезпечує можливість не лише оперативно реагувати на зміни РО, що відбуваються, але і прогнозувати подальший її розвиток з врахуванням метеорологічних параметрів атмосфери.

Для контролю метеорологічних параметрів певної Зони пропонується одна метеостанція, але, враховуючи розкиданість Зон, їх кількість для контролю метеорологічних параметрів має бути збільшена по їх кількості.

Інформаційне табло ІТ-09Т з блоком детектування БДБГ-09 та спеціалізованим програмним забезпеченням дають можливість створити автоматизовану систему для цілодобового безперервного моніторингу радіаційного фону для одного об'єкту при передачі інформації на ОДЦ (рис. 1).

Розташували на декількох об'єктах (пунктах спостереження) установи обладнання безперервного моніторингу радіаційного фону та сервер з ПЗ на ОДЦ – отримаємо автоматизовану систему віддаленого радіаційного моніторингу (рис. 2.).

#### **Основні функціональні характеристики:**

прийм та відображення результатів вимірювання ПЕД від блоків детектування БДБГ-09 розташованих на значних відстанях від сервера; можливість здійснити візуалізацію в реальному часі результатів процесу вимірювання в числовій і графічній формі;

можливість встановити окремий пороговий рівень для кожного з блоків детектування;

формування аварійних і попереджувальних повідомлень при перевищенні результатів вимірювання ПЕД заданих порогових рівнів;

зберігання результатів вимірювання ПЕД на жорсткому диску ПК;

формування звітів і можливість їх друку на паперовому носії.

**Структура системи.** Система представляє собою децентралізовану ієрархічну архітектуру з двома рівнями управління. Нижній рівень – модулі станцій збору, обробки та передачі дозиметричних даних. Верхній рівень - рівень операторського управління Системи моніторингу, який представлений сервером відображення і обробки дозиметричної інформації (рис. 2).

Сервер повинен бути постійно підключений до