

## ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ СИНТЕЗОВАНОГО ЕКРАННОГО ОБРАЗУ ДИНАМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНАХ МОНІТОРИНГУ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ЇЇ ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ У ВЕБ-ОРІЄНТОВАНУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНУ СИСТЕМУ

**Анотація.** На основі теоретико-множинного підходу запропоновано формальну модель синтезованого екранного образу динамічної обстановки в районах моніторингу рухомих об'єктів, сутністю якої є варіювання опису множин агрегованих статичних і динамічних об'єктів, що складають інформаційне наповнення адаптивної динамічної сцени з урахуванням контексту заданої предметної області. Розроблено модельований алгоритм пошарової візуалізації контекстного картографічного фону з використанням виділених у моделі типів картографічних об'єктів. Модель імплементована у веб-орієнтовану геоінформаційну систему моніторингу рухомих об'єктів, яка функціонує згідно з концепцією MVC і має клієнт-серверну архітектуру. Для її реалізації використано комплекс сучасних веб-технологій: на боці сервера — PHP і MySQL, на боці клієнта — AJAX і jQuery. Модуль додавання/видалення інформації про рухомі об'єкти у динамічній сцені взаємодіє з картографічним сервісом Google Maps, не створюючи при цьому істотних навантажень на серверну частину системи.

**Ключові слова:** веб-орієнтована система моніторингу рухомих об'єктів, динамічна сцена, картографічний фон, символ рухомого об'єкта, пошарова візуалізація, контекст, MVC, клієнт-серверна архітектура.

### ВСТУП

Перманентний попит на оперативну і достовірну інформацію про підконтрольні рухомі об'єкти, яка має географічний контекст і містить прив'язку до спостережуваної території, представлена у вигляді електронної карти, зумовлює актуальність розроблення, створення і впровадження програмно-технічних систем [1–6], що інтегрують високоточні супутникові системи позиціонування, системи радіозв'язку і геоінформаційні системи, здатні функціонувати у реальному масштабі часу. Геоінформаційна складова таких систем є джерелом, що забезпечує надання та інтерпретацію картографічної інформації, необхідної для формування динамічних сценаріїв обстановки в районах руху об'єктів наземного, морського, повітряного, а також космічного базування (вибір типу рухомих об'єктів диктується прикладними задачами, що розв'язуються у рамках системи).

Принцип роботи моніторингових систем такого класу полягає у відслідковуванні та аналізі в online-режимі просторових і часових координат рухомих об'єктів, які знаходяться в зоні відповідальності конкретного диспетчера [7]. Для підтримки прийняття оптимальних рішень отримані координатні дані рухомих об'єктів разом із контекстною картографічною інформацією надаються диспетчеру у вигляді синтезованого графічного образу навколишньої динамічної обстановки. Від якості представлення динамічної сцени залежать коректність і обґрунтованість прийнятих рішень, специфіку яких зумовлено тією чи іншою сферою застосування системи.

Для адекватного сприйняття оператором картини поточної обстановки програмне забезпечення, що відповідає за відображення агрегованих даних про рухомі об'єкти та картографічний фон [8, 9], має підтримувати можливість мульти-

масштабної генерації картографічних об'єктів і функцію трансформації (реконфігурації) символічної множини, яка являє собою описи різнотипних рухомих об'єктів. Побудова відповідних програмних модулів, що реалізують зазначену функціональність, можлива за умови існування низки альтернативних формальних моделей, на базі яких здійснюється програмне моделювання [10–13].

З формальної точки зору особливість систем цього класу полягає в тому, що вони зазвичай описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних, які є незручними для комп'ютерного оброблення. Особливо актуальними є проблеми математичного опису в людино-машинних системах, коли окрім законів фізики доводиться враховувати ще і логіку поведінки операторів.

Аналіз публікацій та інших літературних джерел [3–5, 14–19] засвідчив, що наявні математичні моделі опису екранного образу динамічної обстановки розроблено без урахування сучасних вимог до представлення рухомих об'єктів як реалістичних символів з розширеною атрибутикою та без подання картографічного фону у вигляді набору мультимасштабних електронних карт, який визначається контекстом предметної області чи розв'язуваних у її межах задач.

Тому метою досліджень, викладених у статті, є побудова формальної моделі синтезованого екранного образу динамічної обстановки в районах моніторингу рухомих об'єктів, яка склала б основу програмних модулів формування адаптивних динамічних сцен, що можуть змінювати інформаційне наповнення залежно від контексту.

#### ДЕКОМПОЗИЦІЯ МОДЕЛІ СИНТЕЗОВАНОГО ЕКРАННОГО ОБРАЗУ НА КЛАСИ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Запропоновану модель задамо множиною об'єктів, які знаходяться в складі зображення кадрів динамічної сцени і відрізняються один від одного інформаційним змістом, характером оброблення та візуалізації. Позначимо таку множину  $U = \{u_i, i \in I\}$ , де  $u_i$  —  $i$ -й елемент вказаної множини об'єктів,  $I$  — множина індексів цих об'єктів. Елемент  $u_i$  опишемо як кортеж, тобто подамо його у векторній формі:  $u_i = (u_{i_1}, u_{i_2}, \dots, u_{i_n})$ . Для  $n$ -го елемента кортежу, значення якого описує  $i$ -й екземпляр множини об'єктів, запишемо відношення включення  $u_{i_n} \in \text{Dom}(A_{i_n})$ , де  $A_{i_n}$  — ім'я атрибута, що відповідає  $n$ -му елементу кортежу, а  $\text{Dom}(A_{i_n})$  — область значень атрибута з ім'ям  $A_{i_n}$ . Атрибути відображують властивості об'єктів синтезованого образу, тобто кожен об'єкт характеризується набором показників, які можуть мати детерміноване значення — кількісне або якісне.

Набори об'єктів зі схожими загальними характеристиками є класами об'єктів:

$$U = \{u_j \mid u_j = \{u_{j_1}, u_{j_2}, \dots, u_{j_m}\}\} \quad \forall h, l \in \overline{1, m}: At(u_{j_h}) = At(u_{j_l}),$$

де  $At(u_{j_h})$  — набір атрибутів, які відповідають  $h$ -му екземпляру множини об'єктів,  $At(u_{j_l})$  — набір атрибутів, які відповідають  $l$ -му екземпляру. За розгортанням у часі всі об'єкти  $U$  динамічної сцени поділяють на два класи [4, 6–9, 13, 15, 20–22]: статичні  $S$  (представляють відносно стабільну за змістом інформацію) і динамічні  $D$  (представляють інформацію, яка змінюється за певний інтервал часу за змістом або положенням на екрані):  $U = S \cup D$ . До першого класу відносяться картографічні об'єкти тематичної карти заданого масштабу, до другого — атрибутивно-насичені графічні символи (відмітки, маркери) рухомих об'єктів, їх формуляри та треки.

У свою чергу, в підмножині  $S$  виділимо об'єкти трьох типів (класів): тематичні  $T$ , графічні  $G$  та просторові  $P$ . Їх диференціюють за фізичною природою і функціональним значенням:

- $T$  — характеризують семантичний зміст контекстної картографічної інформації і критерії відбору даних тематичного типу при генералізації карти;
- $G$  — складають мову відображення картографічних об'єктів, яка використовує бібліотеку умовних знаків та природну мову для відтворення деякої сукупності абстрактних і узагальнених понять, визначених на множині  $T$ ;
- $P$  — відображають геометричну структуру і позиціонування картографічних даних графічного типу.

Звідси можна записати:  $S = T \cup G \cup P$ ;  $T \cap G \cap P = \emptyset$ .

Відповідне розбиття початкової множини об'єктів  $S$  на суміжні класи задають підмножинами атрибутів, які не перетинаються між собою:

$$At^T = \{(A_i^T, \text{Dom}(A_i^T)), i \in I\}, \quad At^G = \{(A_j^G, \text{Dom}(A_j^G)), j \in J\},$$

$$At^P = \{(A_k^P, \text{Dom}(A_k^P)), k \in K\}, \quad At^T \cap At^G \cap At^P = \emptyset,$$

де  $A_i^T$  —  $i$ -е ім'я множини тематичних атрибутів  $At^T$ ;  $A_j^G$  —  $j$ -е ім'я множини графічних атрибутів  $At^G$ ;  $A_k^P$  —  $k$ -е ім'я множини просторових атрибутів  $At^P$ ;  $I, J, K$  — відповідно множини індексів тематичних, графічних і просторових атрибутів.

Таким чином, модель синтезованого образу поточної обстановки в районах спостереження рухомих об'єктів можна подати в узагальненому формальному вигляді:

$$MOD^U = \langle MOD_{KF}^S, MOD_{RAS}^D, f_S^D, Time \rangle,$$

де  $MOD_{KF}^S$  — модель контекстного картографічного фону;  $MOD_{RAS}^D$  — модель складних з розширеною атрибутикою символів рухомих об'єктів;  $f_S^D$  — функціональне відображення, яке визначає взаємозв'язок між класами статичних та динамічних об'єктів;  $Time$  — індексована множина моментів часу  $t \in Time$ .

#### ДЕТАЛІЗАЦІЯ ОПИСУ МОДЕЛІ КОНТЕКСТНОГО КАРТОГРАФІЧНОГО ФОНУ

Запишемо в деталях модель картографічного фону [13, 15]:

$$MOD_{KF}^S = \langle MOD_{KF}^T, MOD_{KF}^G, MOD_{KF}^P, Hr^{MOD_{KF}^S}, L_C, At^L, Hz^{Lc}, Hz^{LA}, f_{MOD_{KF}^S}^{Hz}, f_L^{Hz}, f_{LA}^{Hz}, f_C^C \rangle,$$

де  $MOD_{KF}^T, MOD_{KF}^G, MOD_{KF}^P$  — відповідно тематична, графічна і просторова моделі картографічних даних;  $Hr^{MOD_{KF}^S}$  — характеристики моделі картографічного фону: тип проєкції, тип карти, масштабний ряд, які визначаються контекстом предметної області;  $L_C$  — сукупність картографічних зв'язків (відношень) між елементами тематичної, графічної і просторової моделей даних;  $At^L$  — атрибути картографічних зв'язків;  $Hz^{Lc}, Hz^{LA}$  — набори інтегральних характеристик (значень) відповідно картографічних зв'язків та їх атрибутів;  $f_{MOD_{KF}^S}^{Hz}$  — відображення, що задає характеристики моделі картографічного

фону;  $f_L^{Hz}, f_{LA}^{Hz}$  — відображення, які визначають відповідно взаємозв'язки між картографічними відношеннями, їх атрибутами і конкретними наборами інтегральних характеристик (шляхом присвоєння дискретних значень);  $f_C^C$  — відображення, що визначає співвідношення між класами об'єктів, які залучають до картографічних зв'язків: «один до одного», «один до багатьох», «багато до багатьох».

Кожну підмодель  $MOD_{KF}^T, MOD_{KF}^G, MOD_{KF}^P$  формально запишемо таким кортежем:

$$MOD_{KF}^X = \langle XO, At^X, Hz^{XO}, Hz^{XA}, f_{XO}^{Hz}, f_{XA}^{Hz} \rangle.$$

Змінна  $X$  символізує тип (клас) картографічних даних (об'єктів): тематичний  $T$ , графічний  $G$  і просторовий  $P$ ;  $XO$  — набір класів картографічних  $X$ -об'єктів;  $At^X$  — множина  $X$ -атрибутів;  $Hz^{XO}$  — набори інтегральних характеристик класів картографічних  $X$ -об'єктів;  $Hz^{XA}$  — набори інтегральних характеристик  $X$ -атрибутів;  $f_{XO}^{Hz}, f_{XA}^{Hz}$  — відображення, що визначають відповідно взаємозв'язки між класами картографічних  $X$ -об'єктів, їхніми атрибутами та конкретними наборами інтегральних характеристик.

Специфіка кожної субмоделі  $MOD_{KF}^X$  зумовлюється, в першу чергу, вмістом множини  $XO$ , яка розбивається на відповідні підмножини картографічних об'єктів типу  $X$ , а також наявністю додаткових складових (для тематичної моделі картографічних даних):

$$X = T \Rightarrow TO = \bigcup_i TO_i, i = \overline{1, Card TO}, L_{TO}^O, L_{CO}^T, f_C^T;$$

$$X = G \Rightarrow GO = \{GO^{Point}, GO^{Line}, GO^{Polygon}, GO^{Text}\};$$

$$X = P \Rightarrow PO = \{PO^Z, PO^P, PO^L, PO^S, PO^W, PO^V\}.$$

Так, вміст множини тематичних картографічних об'єктів  $TO$  електронної карти диференціюють залежно від її типу та масштабу. Тому до складу  $MOD_{KF}^T$  вводять такі компоненти:  $L_{TO}^O$  — семантичний зв'язок узагальнення, який визначає склад і кількість елементів у множині  $TO$  для кожного конкретного випадку заданої предметної області;  $L_{CO}^T$  — зв'язок селекції, який визначає механізм відбору тематичних об'єктів при картографічному масштабуванні з різним ступенем деталізації;  $f_C^T$  — відображення, яке задає характеристики зв'язків  $L_{TO}^O$  і  $L_{CO}^T$ .

При цьому інтегральними характеристиками  $Hz^{TO}$  класів тематичних картографічних об'єктів є рівень узагальнення, значення рангу, кількість екземплярів об'єктів у класі.

Множина  $TO$  задається контекстними елементами предметної області, які також розбивають на підмножини, причому структура взаємозв'язків між ними має ієрархічну природу. Наприклад, для аеронавігації та керування повітряним рухом [2, 3, 13] класифікованими елементами множини  $TO$  можуть бути такі складники:  $TO_1 = \{TO_{11}, TO_{12}\}$  — наземні структури — відповідно населені пункти (міста, містечка, села) і транспортна мережа (траси, дороги, залізничні рейки і станції, мости, тунелі);  $TO_2 = \{TO_{21}, TO_{22}, TO_{23}, TO_{24}\}$  — географічні деталі — відповідно рельєф (підвищення окремих об'єктів, найбільше підвищення, гори, перевали, льодовики, обриви, дюни) і гідрографія (озера, річки, моря, океани),

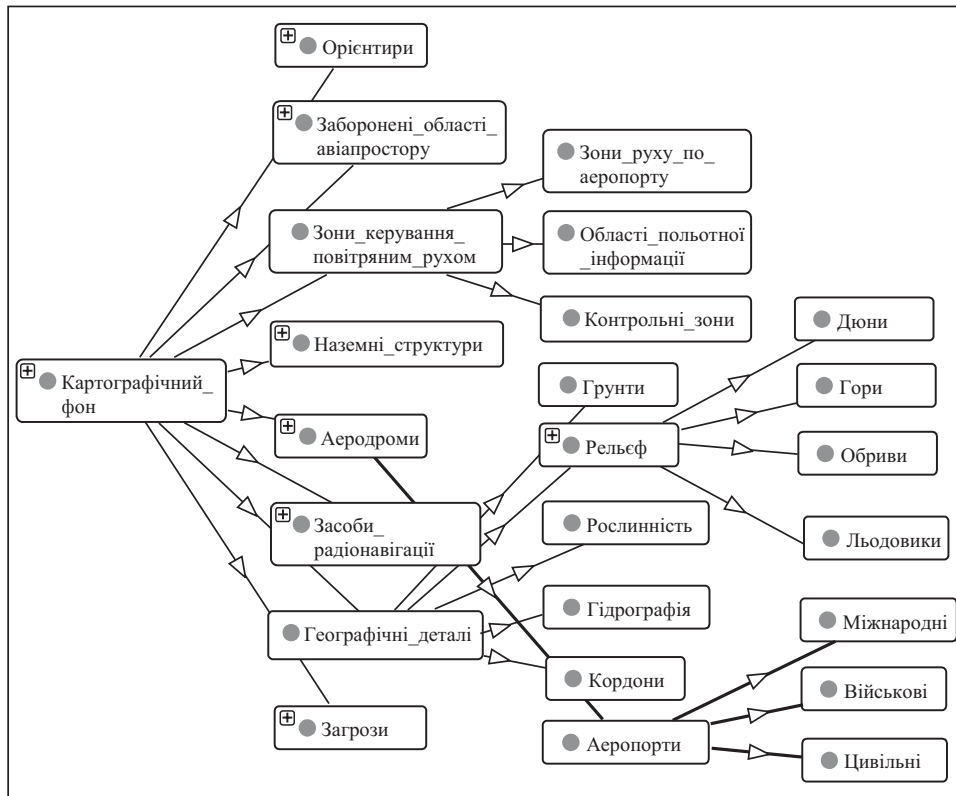


Рис. 1. Граф ієрархії класів тематичних об'єктів контекстного картографічного фону для предметної області — аеронавігація та керування повітряним рухом

а також рослинність, ґрунти і кордони;  $TO_3$  — орієнтири (промислові, сільськогосподарські, соціально-культурні та інші об'єкти — башти, церкви, замки, пам'ятники, фабрики, маяки, дамби, нафтові вишки, трубопроводи);  $TO_4 = \{TO_{41}, TO_{42}, TO_{43}, TO_{44}, TO_{45}, TO_{46}\}$  — аеродроми — відповідно аеропорти (міжнародні, цивільні і військові); злітні поля (найдовша смуга); вертолітні майданчики; планерні поля; парашутні установки; вільні майданчики для повітряних куль;  $TO_5$  — засоби радіонавігації (всюдинапрямлені курсові радіомаяки, ненапрямлені радіомаяки, радіомаркери, основні радіозасоби, радіочастоти);  $TO_6$  — заборонені області авіапростору (зони небезпеки, тимчасово зарезервовані зони, зони заборони низьких польотів, колонії птахів);  $TO_7$  — зони керування повітряним рухом (контрольні зони, області польотної інформації, зони руху по аеропорту);  $TO_8$  — загрози (перешкоди (освітлені, неосвітлені), підвісні канатні дороги) тощо. Фрагмент цієї таксономії наведено на рис. 1.

Множину  $GO$  складають  $GO^{Point}$  — множина позамасштабних точкових графічних об'єктів;  $GO^{Line}$  — множина лінійних графічних об'єктів;  $GO^{Polygon}$  — множина полігональних графічних об'єктів;  $GO^{Text}$  — множина графічних об'єктів текстового типу. Множина  $PO$  об'єднує  $PO^Z$  — просторові об'єкти типу «зона»;  $PO^P$  — точкові просторові об'єкти;  $PO^L$  — лінійні просторові об'єкти;  $PO^S$  — полігональні просторові об'єкти;  $PO^W$  — просторові об'єкти типу «основні вершини» (вузли);  $PO^V$  — просторові об'єкти типу «дуги».

#### КОМПОНЕНТИ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ З РОЗШИРЕНОЮ АТРИБУТИКОЮ СИМВОЛІВ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

З позиції системного підходу множина динамічних об'єктів  $D$  — це сукупність множин даних, які утворюються згідно з сюр'єктивним відображен-

ням  $f_{typ}: D \rightarrow Typ$ , де  $Typ$  — множина типів даних.

Сюр'єкція  $f_{typ}$  задає відповідність між двома множинами:  $D$  і  $Typ$ , в якій з кожним елементом другої множини  $Typ$  асоціюється хоча б один елемент першої множини  $D$ , тобто

$$\forall typ \in Typ \Rightarrow \exists d (d \in D \wedge (d, typ) \in R \wedge R \subset D \times Typ),$$

де  $R$  — бінарне відношення (підмножина), що визначене на декартовому добутку цих двох множин, які утворюють сукупність впорядкованих пар елементів:

$$R \subset D \times Typ = \{(d, typ) | d \in D \wedge typ \in Typ\}.$$

Тоді для зображення тематичного динамічного шару синтезованого образу обстановки, який складається з масиву стилізованих символів об'єктів, що постійно змінюють місцеположення, можна виділити три категорії даних:  $Typ = \{typ_h, h = \overline{1, 3}\}$ , де  $typ_1, typ_2, typ_3$  — відповідно семантичні, графічні та метричні дані.

Формально модель складних з розширеною атрибутикою символів рухомих об'єктів  $MOD_{RAS}^D$  можна записати в такому вигляді:

$$MOD_{RAS}^D = \{MOD_n^{SYM}, n \in N\},$$

де  $MOD_n^{SYM}$  —  $n$ -а модель одиночного символу з розширеною атрибутикою,  $N$  — кількість динамічних символів у сцені.

Використовуючи виділені елементи множини  $Typ$ , модель формального опису конкретного такого символу можна задати кортежем

$$MOD^{SYM} = \langle S^{SYM}, G^{SYM}, M^{SYM}, t \rangle,$$

де  $S^{SYM}$  — змістовне значення (семантика) символу;  $G^{SYM}$  — графічна форма вираження змістовного значення;  $M^{SYM}$  — геометричний опис (метрика) символу;  $t$  — деякий фіксований момент часу.

Так, векторний символ з розширеною атрибутикою, який позначає повітряний об'єкт — літак, будуюмо за функцією його квазіоптичного зображення, яка передбачає ідентифікацію типів змістовних елементів символу та їхнього взаємного розташування на основі радіолокаційних даних про висотно-швидкісні характеристики, подовжні та поперечні розміри співставленого йому реального літального апарата, а також на підставі взаємного компонування визначених на попередніх кроках елементів із заданим коефіцієнтом довіри [13].

У випадку представлення символу багатокладовим спрайтом [13] складову  $G^{SYM}$  задають трійкою:  $G^{SYM} = \{F, O^F, M^{FO}\}$ , де  $F$  — набір фазованих зображень символу;  $O^F$  — набір орієнтованих зображень символу для кожної фази;  $M^{FO}$  — набір масок прозорості [1] для кожної фази і орієнтації. Причому кількість фаз і напрямків орієнтації витікає з умов реалістичності і плавності візуалізації динамічного сценарію.

#### АЛГОРИТМ ПОШАРОВОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЦИФРОВОЇ КАРТИ ЗГІДНО З МОДЕЛЛЮ КОНТЕКСТНОГО КАРТОГРАФІЧНОГО ФОНУ

В автоматизованих системах моніторингу рухомих об'єктів процедура формування синтезованого екранного образу динамічної обстановки включає первинну побудову тематичної карти із заданим набором прошарків, після якої виконують операції пріоритетного нанесення у місцевизначені області

фону рухомих і нерухомих зображень символів динамічних об'єктів. Для виведення на екран контекстного зображення картографічного фону відповідно до моделі  $MOD_{KF}^S$  розроблено алгоритм [6, 13, 21], блок-схема якого показана на рис. 2.

Алгоритм ґрунтується на принципі пошарової організації картографічних даних, який полягає в тому, що використовують розподіл картографічних об'єктів на тематичні шари. Об'єкти, які віднесені до одного шару, утворюють логічно, а також фізично (збираються в один файл) окрему одиницю даних, тобто мають єдину і окрему від інших шарів систему ідентифікаторів. Це означає, що всю множину об'єктів, які описують багат шаровий картографічний фон, поділяють на підмножини, кожна з яких — це множина однотипних і однорідних об'єктів, що утворюють шар даних. Причому під однотипними даними ро-

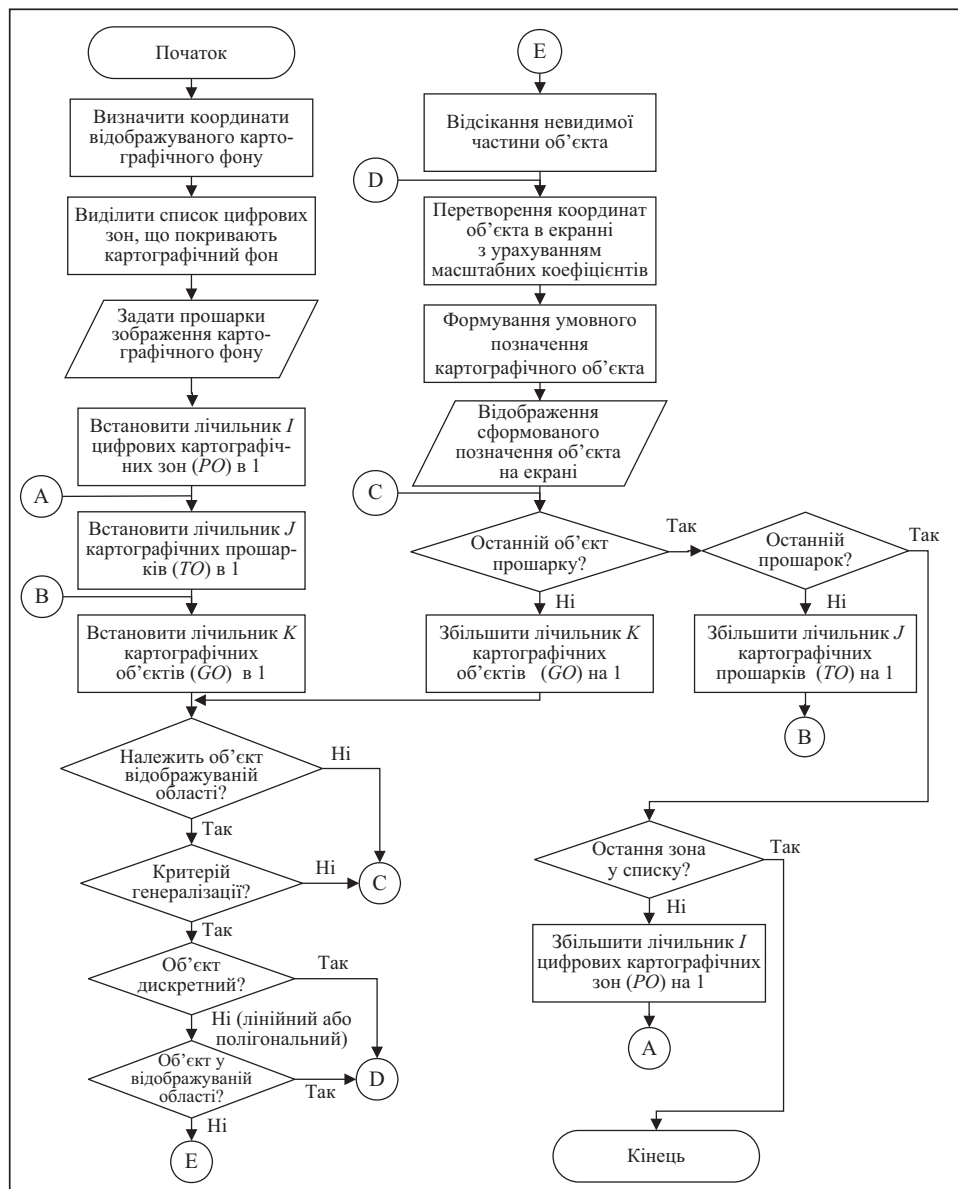


Рис. 2. Блок-схема алгоритму пошарової візуалізації контекстного картографічного фону

зуміють об'єкти, що мають схожу семантику, або об'єкти, які мають однакову розмірність або топологічну структуру.

В алгоритмі можна не накладати ніяких обмежень на порядок картографічних шарів, проте перевагу віддають дотриманню такого порядку розташування шарів (знизу–вгору): 1) растрові шари; 2) шари з полігональними об'єктами; 3) шари з лінійними об'єктами; 4) шари з точковими (дискретними) об'єктами; 5) шари з текстовими об'єктами. Такий порядок дозволяє досягти видимості переважної більшості об'єктів контекстного фону.

При пошаровій візуалізації картографічних даних відкривається низка можливостей:

- змінювати видимість і порядок шарів;
- незалежного налаштування параметрів візуалізації кожного шару;
- автономного просторового аналізу за шарами;
- формування картографічного фону з шарів різного ступеня деталізації.

#### ПЕРЕВАГИ МОДЕЛЮВАННЯ СИНТЕЗОВАНОГО ЕКРАННОГО ОБРАЗУ

Проілюстрований підхід моделювання синтезованого образу динамічної обстановки базується на диференціації опису об'єктів, які складають динамічну сцену. Це дозволяє представити модельований процес у вигляді композиції результатів моделювання окремих компонент: контекстного картографічного фону і тематичного динамічного шару складних з розширеною атрибутикою символів рухомих об'єктів (на верхньому рівні). У такій постановці процес моделювання синтезованого образу — це сукупність оптимізаційних підпроцесів побудови кожної моделі даних. Оптимальний розв'язок знайдено на основі локальної субоптимізації, що зумовлює підвищення якості організації адаптивної динамічної сцени.

Як показали експериментальні дослідження [7, 13, 22], розроблена модель екранного образу динамічної обстановки, яка включає опис колекції тематичних прошарків картографічного фону, що характеризують контрольовану ділянку простору, та опис динамічних прошарків складних символів з розширеною атрибутикою, вид яких означає той чи інший рухомий об'єкт, дає можливість підвищити ефективність функціонування розглянутих моніторингових систем за рахунок виявлених переваг.

Введення в  $MOD_{KF}^S$  зв'язків між  $MOD_{KF}^T$  і  $MOD_{KF}^P$  дозволяє: 1) здійснити строгу геоприв'язку всіх тематичних об'єктів до обраної системи координат; 2) реалізувати логічне масштабування в автоматичному режимі; 3) узагальнити тематичні об'єкти за зонами, що значно зменшує час на вибірку графічних даних при візуалізації зонованого картографічного фону. Крім того, зв'язок між  $MOD_{KF}^T$  і  $MOD_{KF}^G$  дозволяє врахувати особливості візуальних характеристик картографічних даних для кожного масштабу.

При комп'ютерному моделюванні динамічного шару символів рухомих об'єктів можна змінювати їхню форму, розміри та положення на електронних картах різних масштабів. При цьому символи об'єктів не є «приклеєними» до картографічного фону, тобто при зміні кадру зображення динамічної сцени змінюється лише положення символів, а картографічний фон нема потреби знову синтезувати, за винятком перекритих символами його ділянок. Це підвищує швидкість відображення синтезованого образу поточної обстановки і скорочує обсяг оперативної пам'яті при показі на екрані будь-якого розміру.



## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ У WEB-ОРІЄНТОВАНІЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Призначенням програмно-технічної системи, розробленої на основі запропонованої моделі синтезованого екранного образу динамічної обстановки, є збір, зберігання та відображення інформації про стан і місцезоналення рухомих об'єктів, які контролює оператор. Система реалізується у вигляді web-додатка для доступності через мережу Інтернет, що дає можливість залучати до віддаленої роботи більшу кількість користувачів.

Для розроблення цієї web-орієнтованої геоінформаційної системи використано такі програмні засоби [23–25]: фреймворк PHP 5 — Zend Framework, систему управління базами даних (СУБД) MySQL 5, фреймворк JavaScript — jQuery, Google Maps API — картографічний сервіс, який працює в режимі web-сторінки і дозволяє розробникам за допомогою JavaScript вбудовувати у свої web-сторінки карти Google з можливістю їхнього налаштування.

Геоінформаційна система, спроектована на базі перерахованих сучасних засобів технології Web 2.0, поділяється на чотири функціональних блоки (рис. 3), кожен з яких виконує набір специфічних задач відповідно до функціонального призначення.

1. Блок HTML (HyperText Markup Language — мова розмітки гіпертексту) — відображає для клієнта сторінку, побудовану компонентом PHP — контролером фреймворка Zend Framework, до якої підключено необхідні скрипти і файли каскадних таблиць стилів CSS (Cascading Style Sheets).

2. Блок PHP (HyperText Preprocessor — гіпертекстовий препроцесор) — складається з двох логічних компонентів: моделі, що відповідає за роботу з базою даних, і контролера, що відповідає за логіку роботи системи.

3. Блок MySQL, призначенням якого є зберігання даних із забезпеченням їхньої цілісності, доступності та конфіденційності.

4. Блок JavaScript і CSS файлів — функціональний блок для реалізації користувацького інтерфейсу і завантаження даних за допомогою AJAX (Asynchronous JavaScript And XML).

Взаємодія між блоками відбувається відповідно до архітектурного шаблону MVC (Model–View–Controller) — модель–вид–контролер. Сутність концепції цього шаблону проектування полягає у тому, що програмна система поділяється

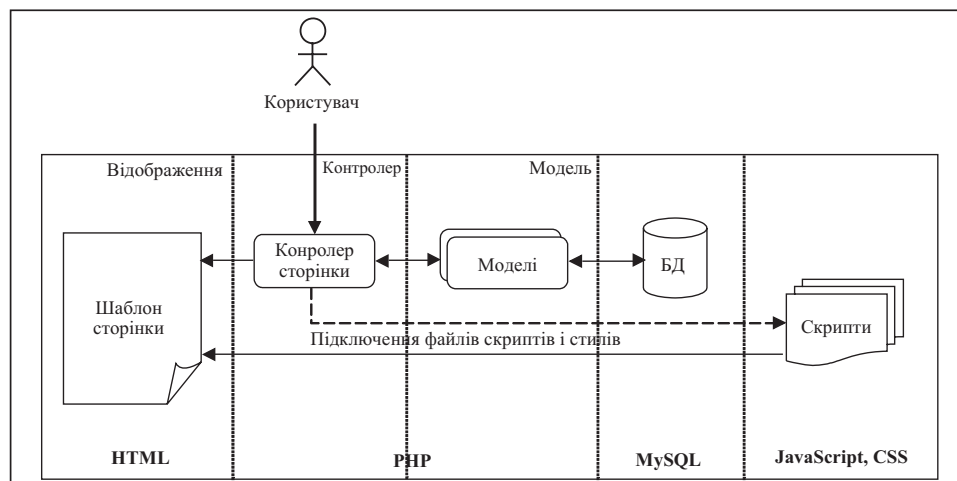


Рис. 3. Структура веб-додатка моніторингу рухомих об'єктів

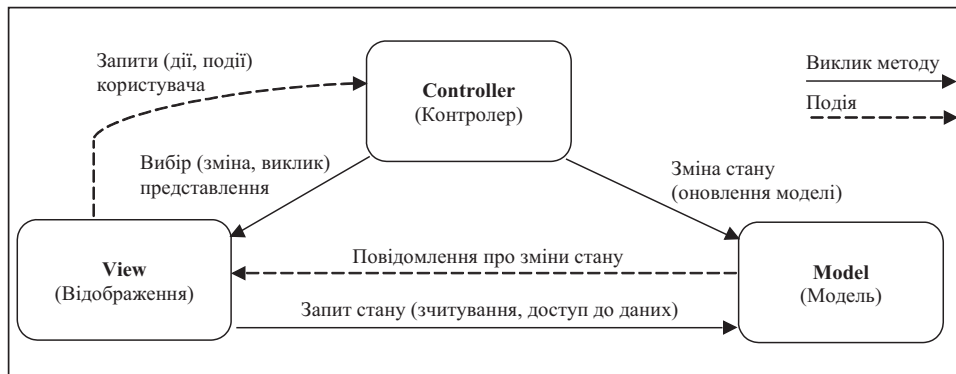


Рис. 4. Схема програмного додатка, що працює згідно з моделлю MVC

на три окремих компоненти (рис. 4): модель даних додатка (Model), користувацький інтерфейс (View) та модуль взаємодії з користувачем (Controller) так, що модифікація одного з компонентів мінімально впливає на інші.

- Модель — реагує на запити, змінюючи свій стан, і надає знання: дані та методи роботи з цими даними, причому не містить інформації, як ці знання можна візуалізувати.
- Відображення — відповідає за візуалізацію інформації.
- Контролер — контролює введення даних користувачем та використовує решту компонентів для реалізації необхідної реакції, забезпечуючи в такий спосіб зв'язок між користувачем і системою.

Основною метою застосування концепції MVC є відокремлення бізнес-логіки (моделі) від її візуалізації (представлення, виду). За рахунок такого поділу підвищено можливість повторного використання окремих компонентів програми і зменшено складність великих систем, що робить їх більш зрозумілими завдяки впорядкованості їхньої структури. Найбільш корисно цю концепцію застосовувати у тих випадках, коли необхідно надавати користувачу одні і ті ж дані одночасно в різних контекстах і/або з різних точок зору.

Таким чином, у розглянутій web-орієнтованій геоінформаційній системі реалізовано диференціацію всіх компонентів на самостійні частини, кожна з яких виконує окрему функцію: HTML (View), PHP (Controller і Model). Причому Model інкапсулює в собі моделі картографічного фону і символів рухомих об'єктів.

Для розроблення системи за принципом MVC обрано крос-платформний фреймворк Zend Framework, усі компоненти якого написано об'єктно-орієнтованою мовою програмування PHP 5. Ця багатофункціональна програмна платформа, яка характеризується архітектурою слабкого зв'язування (з мінімальними залежностями між частинами проекту) і гнучкою системою кешування з підтримкою різних типів (у пам'яті або у файловій системі), окрім MVC-компонентів, містить множину бібліотек, корисних для побудови комунікаційних MVC-додатків для Інтернету, а також включає підтримку різних СУБД, у тому числі й MySQL.

Реляційна СУБД MySQL з відкритим вихідним кодом не потребує рекомендацій: вона займає лідируючу позицію серед подібних систем і надає інтерфейс для взаємодії з багатьма мовами програмування, серед яких — скриптова мова програмування загального призначення PHP. Розроблений розподілений додаток базується на клієнт-серверній архітектурі [26, 27], в якій клієнтом є браузер, а сервером — веб-сервер. Вони обмінюються між собою інформацією за протоколом HTTP (Hyper Text Transfer Protocol — протокол передачі гіпертекстових

документів). Тому і MySQL використано як сервер, до якого звертаються локальні або віддалені клієнти.

СУБД як програмний комплекс, що управляє базою даних, виконує всі низькорівневі операції з файлами, завдяки чому при роботі з базою даних необхідно тільки оперувати логічними конструкціями за допомогою мови програмування високого рівня, зокрема PHP. Гнучкість СУБД MySQL забезпечено великою кількістю типів таблиць, таких як MyISAM, що підтримують повнотекстовий пошук, так і таблиць InnoDB, що підтримують транзакції на рівні окремих записів [28]. Широкий вибір типів таблиць, у тому числі й сторонніх розробників, дозволяє реалізувати оптимальну для розв'язуваної задачі продуктивність і функціональність.

Для адміністрування створеної в СУБД MySQL бази даних, в якій зберігається зібрана інформація про рухомі об'єкти та атрибутивні дані тематичних шарів картографічного фону, використовується веб-додаток з відкритим кодом PhpMyAdmin.

Технології PHP і MySQL є найбільш доцільними для створення серверної частини прикладного програмного забезпечення: PHP здатний динамічно генерувати вихідні дані для клієнта, а MySQL зберігає дані та управляє ними. Клієнтські технології побудовано на основі JavaScript [29] — інтерпретованій мові програмування з об'єктно-орієнтованими можливостями, що використовують як вбудовану мову для програмного доступу до об'єктів додатка, з одного боку, і як мову сценаріїв для надання веб-сторінкам інтерактивності, з іншого.

Результатом роботи інтерпретатора JavaScript, що вбудований у web-браузер, є клієнтський JavaScript-код, який виконується на комп'ютері клієнта, а не на веб-сервері. Саме на цій мові програмування реалізовано функції програмного інтерфейсу API (Application Programming Interface) системи Google Maps, що і пояснює його використання для відображення і керування поведінкою (контекстом) картографічного фону. Запропоновані цією системою ключові можливості висвітлено в [30].

При зверненні до веб-орієнтованої геоінформаційної системи користувач бачить її зовнішню реалізацію у формі веб-інтерфейсу, який відображується у вікні перегляду веб-браузера. PHP-код транслюється веб-сервером у HTML-код, який передається клієнту.

Документ HTML, згенерований контролером Zend Framework, обробляється браузером та відтворюється на екрані у зручному для людини вигляді. HTML-розмітка документа складається з чотирьох основних компонентів: елементів з атрибутами і контентом, базових типів даних, символічних мнемонік та декларації типу документа. При цьому застосовують елементи як структурної, так і візуальної розмітки. Елементи першого типу описують семантику контенту без зазначення його візуального відтворення, тому для подальшого стилізування контенту використовують CSS. Елементи другого типу, навпаки, слугують для опису візуальних (презентаційних) ефектів контенту, не вказуючи його функцій, а отже їх використовують лише за необхідності. Головною перевагою CSS є можливість виокремити зміст веб-сторінки (контент, наповнення), сформований однією з мов розмітки даних (HTML, XML тощо), з вигляду документа, презентаційна оболонка якого описується за допомогою CSS.

Таке розділення дозволяє покращити сприйняття та доступність контенту, забезпечити більшу гнучкість та контроль за його відображенням у будь-яких веб-браузерах та пристроях, зробити контент більш структурованим та простим, прибрати повтори у кодї, а також адаптувати контент до різних умов відображення (на екрані монітора, мобільного пристрою тощо).

Для реалізації скриптів в інтерфейсі користувача застосовано популярний фреймворк jQuery, створений на мові JavaScript. Бібліотека jQuery допомагає отримувати доступ до будь-якого елемента DOM (Document Object Model — об'єктна модель документа) на HTML-сторінці, звертатися до атрибутів і вмісту елементів DOM, а також маніпулювати ними, забезпечуючи крос-браузерну підтримку веб-додатків. Отже, jQuery спеціалізується на взаємодії JavaScript і HTML [27]: вона одночасно працює зі скриптами JavaScript, і її використовують для роботи з HTML-документами.

На рівні з CSS, яка відокремлює візуалізацію сторінки від будови HTML, бібліотека jQuery виокремлює поведінку від структури HTML. Крім того, ця бібліотека надає зручний API для роботи з AJAX, при використанні якого веб-сторінка не перезавантажується повністю у відповідь на кожну дію користувача чи програмну подію, а довантажує лише дані, що змінилися. Це дає можливість динамічної зміни будь-якої частини користувацького інтерфейсу без необхідності перезавантаження всієї сторінки, що, в свою чергу, корисно при слабкому Інтернет-з'єднанні або малій швидкості передавання даних. Якщо основний сенс технології AJAX полягає в створенні більш інтелектуальних клієнтів, то сервери, які спілкуються з цими клієнтами, повинні володіти не меншою інтелектуальністю, інакше вони просто не зможуть співпрацювати один з одним [31].

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень розвинуто модель синтезованого екранного образу динамічної обстановки в районах моніторингу рухомих об'єктів, яка представлена сукупністю взаємопов'язаних об'єктів двох класів: статичних і динамічних. Об'єкти першого класу задають модель контекстного картографічного фону, яку структурують у вигляді набору базових прошарків, доповнених елементами змісту заданої предметної області. Об'єкти другого класу визначають модель складних з розширеною атрибутикою символів рухомих об'єктів, яку компонують, на відміну від відомих, у вигляді набору фазовано-орієнтованих зображень для кожного динамічного символу, що є активним в області відображення сцени упродовж контрольного проміжку часу.

Для предметної області моніторингу повітряних рухомих об'єктів наведено можливий склад множини тематичних об'єктів контекстного картографічного фону. В контексті цієї області запропоновано визначати семантичні, графічні та метричні атрибути символів різнотипних літаків як за комплексними радіолокаційними даними про траєкторні ознаки реальних об'єктів, їхні подовжно-поперечні розміри, так і на основі знань про взаємне компонування типів елементів, що утворюють образ символу, отриманих на попередніх кроках ідентифікації.

Завдяки декомпозиції опису об'єктів, які наповнюють адаптивну динамічну сцену, з'явилася можливість програмної організації паралельного оброблення образу за вказаними прошарками, що значно підвищує швидкість його відображення, а це вивільняє час для прийняття оператором адекватних рішень.

Розроблено алгоритм пошарової візуалізації картографічних даних з різним масштабом. Однак при зменшенні масштабу виникає проблема, пов'язана з перевантаженістю електронної карти, яку частково усувають, застосовуючи процедуру генералізації. Під генералізацією розуміють процес, що дозволяє виявити головні елементи картографічного фону, які переносять на карту меншого масштабу, а інші елементи видаляють. Незважаючи на наявність певних методик, задача генералізації є слабо формалізованою і суб'єктивною. Існують відомі методи і процедури, які дозволяють автоматизувати окремі етапи цього процесу. Проте перспективним напрямком є формування заздалегідь визначеної колекції мультимасштабних зображень картографічного фону, які необхідно зберігати у системі моніторингу рухомих об'єктів для побудови адаптивної динамічної сцени.

На основі запропонованої моделі синтезованого екранного образу динамічної обстановки спроектовано веб-орієнтовану геоінформаційну систему моніторингу рухомих об'єктів, яка функціонує згідно з концепцією MVC і має клієнт-серверну архітектуру. Для її реалізації використано комплекс сучасних веб-технологій: на боці сервера — PHP і MySQL, на боці клієнта — AJAX і jQuery. Google Maps API застосовано як сервіс отримання інформації про розташування географічних об'єктів, а також для візуального відображення інформації про рухомі об'єкти.

Імплементация побудованої агрегативної моделі у веб-орієнтовану систему передбачала першим етапом проектування (відповідно до моделі) бази даних, в яку закладено необхідні атрибутивні поля картографічного фону і символів рухомих об'єктів таким чином, щоб у подальшому без особливих перетворень, приєднуючи індексні таблиці, можливо було б розвивати систему.

Операції, які виконуються при появі та зникненні у сцені чергових символів рухомих об'єктів, реалізовано на базі AJAX. При цьому користувач без перезавантаження сторінки фіксує усі внесені у динамічну сцену зміни.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касім А.М. Формалізація процесу обробки даних для растрового маскуванню прозорості зображень рухомих об'єктів. *Управляющие системы и машины*. 2016. № 2. С. 28–31.
2. Касім А.М., Касім М.М., Ясєнев С.О. Специфіка використання геопросторових даних для задач аеронавігації. *Наукоємні технології*. 2016. № 1 (29). С. 16–22.
3. Гофманн-Велленгоф Б., Легат К., Візер М. Навігація. Основи визначення місцезположення та скеровування: Пер. з англ. за ред. Я.С. Яцківа. Львів: Львівський нац. ун-т імені Івана Франка, 2006. 443 с.
4. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., Васильев А.В. и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации: учеб. пособ. Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Красова. С.-Петербург: Политехника, 2004. 446 с.
5. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. Москва: Физматлит, 2003. 280 с.
6. Васюхин М.И., Касим А.М., Капштык О.И., Креденцар С.М. Методы организации динамических сцен в геоинформационных комплексах оперативного управления. *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2007. № 4 (27). С. 72–76.
7. Васюхін М.І., Касім А.М., Гулевець В.Д., Бойко О.Л., Чукаріна Н.М. Методи створення динамічних графічних образів при вирішенні задач відображення поточної обстановки на території аеропорту та прилеглих до нього зонах. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. 2010. Вып. 151. С. 112–118.
8. Васюхин М., Запорожец А., Гулевец В., Касим А. Модель динамических сценариев воздушной и наземной обстановки с синхронной трансформацией символов движущихся объектов и масштаба картографического фона (на примере аэропорта). *Medzinarodna vedecka konferencia "Narodna a medzinarodna bespecnost 2011"* (18–19 Oktober, 2011, Liptovsky Mikulas, Slovakia). 2011. S. 296–300.
9. Васюхін М.І., Касім А.М., Касім М.М. Обґрунтування доцільності створення баз картографічних даних мультимасштабних карт реального часу інтерактивних геоінформаційних систем. Матеріали VI Міжнарод. наук.-практич. конф. молодих вчених «Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта'2015» (Київ, 19–20 листопада 2015). Київ: НУБіП України, 2015. С. 223–224.
10. Глушков В.М. Введение в АСУ. Київ: Техніка, 1974. 319с.
11. Сергиенко И.В., Емец О.А., Емец А.О. Задачи оптимизации с интервальной неопределенностью: метод ветвей и границ. *Кибернетика и системный анализ*. 2013. № 5. С. 38–50.
12. Палагин А.В. Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики. *Кибернетика и системный анализ*. 2013. № 5. С. 3–13.

13. Касім А.М. Методи та засоби формування динамічних сценаріїв в навігаційно-керувальних комплексах: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2013. 217 с.
14. Иванов А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Геоинформатика. Москва: МАКС Пресс, 2001. 349 с.
15. Гасов В.М., Москвин В.С., Сенькин С.И. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: в 7 кн. Москва: Высш. шк., 1990. Кн. 4. 111с.
16. Васин Ю.Г., Башкиров О.А., Рудометова С.Б. Математические модели структурированного описания графических изображений. *Автоматизация обработки сложной графической информации. Межвуз. сб. науч. трудов.* Горький, 1984. С. 92–117.
17. Кирст М.А. Навигационная кибернетика полета. Москва: Воениздат, 1971. 184 с.
18. Липчин Л.Ц. Проектирование сложных навигационных систем. Москва: Машиностроение, 1976. 176 с.
19. Шелестов А.Ю., Кравченко А.Н., Скакун С.В., Волошин С.В., Куссуль Н.Н. Информационная система агромониторинга на основе геопространственных данных. *Кибернетика и системный анализ.* 2013. № 1. С. 145–154.
20. Касім А.М., Касім М.М., Ясенев С.О. Модель динамічної сцени повітряної обстановки. Матеріали наук.-техн. конф. студентів та молодих учених «Наукоємні технології» (Київ, 15–19 листопада 2011). Київ: НАУ, 2011. С. 60.
21. Васюхин М.И., Касим А.М., Пономарев С.А. Метод визуализации картографической информации в геоинформационных комплексах реального времени. Сб. научных трудов 2-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2005. Т. 3. С. 150–153.
22. Васюхін М., Гулевець В., Касім А., Бойко О., Чукаріна Н., Касім М. Імітаційна геоінформаційна модель представлення наземної та повітряної обстановки району аеропорту. *Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник.* Вип. 75. Львів, 2011. С. 100–109.
23. Бенкен Е.С. PHP, MySQL, XML: программирование для Интернета. 3-е изд. С.-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. 304 с.
24. Конверс Т., Парк Д., Морган К. PHP 5 и MySQL. Библия пользователя. Пер. с англ. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1216 с.
25. Шасанкар К. Zend Framework 2.0 разработка веб-приложений. С.-Петербург: Питер, 2014. 208 с.
26. Касім А.М., Касім М.М. Стратегії організації клієнт-серверної взаємодії у web-орієнтованих геоінформаційних системах. Матеріали IV наук.-практич. конф. «Глушковські читання» (Київ, 2 грудня 2015). Київ, 2015. С. 73–75.
27. Касім А.М., Касім М.М. Web-додаток для 2D-візуалізації результатів імітаційного моделювання руху аерокосмічних та наземних об'єктів з геоприв'язкою до електронної карти. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2016: Тези доповідей XI Міжнар. наук.-практич. конф. (Жукин, 27 червня–1 липня 2016). Чернігів, 2016. С. 42–47.
28. Кузнецов М.В., Симдянов И.В. MySQL 5. С.-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. 1024 с.
29. Флэнаган Д. JavaScript. Подробное руководство. Пер. с англ. С.-Петербург: Символ-Плюс, 2008. 992 с.
30. Зервас К. Web 2.0: создание приложений на PHP. Пер. с англ. Москва: Вильямс, 2010. 544 с.
31. Дари К., Бринзаре Б., Черchez-Тоза Ф., Бусика М. AJAX и PHP: разработка динамических веб-приложений. С.-Петербург: Символ-Плюс, 2007. 336 с.

*Надійшла до редакції 18.04.2016*

**А.М. Касим**

**ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗИРОВАННОГО ЭКРАННОГО ОБРАЗА  
ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНАХ МОНИТОРИНГА  
ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЕЕ ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ  
В ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННУЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ**

**Аннотация.** На основе теоретико-множественного подхода предложена формальная модель синтезированного экранного образа динамической обстановки в районах мониторинга подвижных объектов, сущностью которой является варьирование описания множеств агрегированных статических и динамических объектов, составляющих информационное наполнение адаптивной динамической сцены с учетом контекста заданной предметной области. Разработан моделируемый алгоритм послойной визуализации контекстного картографического фона с использованием выделенных в модели типов картографических объектов. Модель имплементирована в веб-ориентированную геоинформационную систему мониторинга подвижных объектов, которая функционирует согласно концепции MVC и имеет клиент-серверную архитектуру. Для ее реализации использован комплекс современных веб-технологий: на стороне сервера — PHP и MySQL, на стороне клиента — AJAX и jQuery. Модуль добавления/удаления информации о подвижных объектах в динамической сцене взаимодействует с картографическим сервисом Google Maps, не создавая при этом существенных нагрузок на серверную часть системы.

**Ключевые слова:** веб-ориентированная система мониторинга подвижных объектов, динамическая сцена, картографический фон, символ движущегося объекта, послойная визуализация, контекст, MVC, клиент-серверная архитектура.

**A.M. Qasem**

**FORMAL MODEL OF THE SYNTHESIZED SCREEN IMAGE OF DYNAMIC SITUATION  
IN THE AREAS OF MOBILE OBJECTS MONITORING AND ITS IMPLEMENTATION  
INTO THE WEB-ORIENTED GEOINFORMATION SYSTEM**

**Abstract.** On the basis of the set theory, a formal model of the synthesized screen image of dynamic situation in the areas of mobile objects monitoring is proposed. It varies the description of the set of aggregated static and dynamic objects that make the informative filling of adaptive dynamic scene, taking into account the context of the subject domain. The designed algorithm of layered visualization of the context cartographic background is developed with the use of the types of cartographic objects selected in the model. The model was implemented into the web-oriented GIS for monitoring of moving objects, which operates under the concept of MVC and has a client-server architecture. For its implementation, a set of modern web technologies were used: on the server side PHP and MySQL, on the client side AJAX and jQuery. The module of addition/deletion of information about moving objects in dynamic scenes interacts with the map service Google Maps, without creating a significant load on the backend system.

**Keywords:** web-based system of monitoring of mobile objects, dynamic scene, cartographic background, symbol of moving object, layered imaging, context, MVC, client-server architecture.

**Касім Аніса Мохаммадівна,**

кандидат техн. наук, старший науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, e-mail: anesa.qasem@gmail.com.