

## СКЛАД І СТРУКТУРА КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ НАВІГАЦІЙНО-МОНІТОРИНГОВИХ КОМПЛЕКСІВ ЗМІННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

\*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна

**Анотація.** У статті сформульовано актуальну науково-прикладну задачу створення системи, що моделює функції збору, обробки та виведення геоприв'язаних даних про мобільні об'єкти і співвіднесених з ними атрибутивних даних картографічного фону для вирішення проблем контролю і керування рухомими об'єктами в межах навігаційно-моніторингових комплексів змінного призначення. Розв'язання поставленої задачі здійснювалось з використанням клієнт-серверної технології побудови програмного забезпечення, яке лежить в основі функціонування розробленої системи моделювання. Наведено характеристику основних складових системи, їх взаємозв'язок та засоби розробки. Велику увагу приділено опису логічної структури реляційних баз даних символів рухомих об'єктів і картографічного фону та організації інформаційної взаємодії між сервером баз даних і клієнтськими додатками, які візуалізують агреговані результати обробки запитів до обох баз даних у формі динамічних сцен. Запропонована система може слугувати прототипом для створення дієвих навігаційно-моніторингових комплексів, а також покликана сформувати базис для подальших розвідок за цією тематикою у плані модернізації чи доробки діючих комплексів з урахуванням виявлених недоліків в інтересах всього діапазону користувачів.

**Ключові слова:** навігаційно-моніторинговий комплекс, база даних символів рухомих об'єктів, реляційна картографічна база даних, візуалізація динамічних сцен, клієнт-серверна архітектура, SQL-запит, потоки даних, попиксельне накладання зображень.

**Аннотация.** В статье сформулирована актуальная научно-прикладная задача создания системы, моделирующей функции сбора, обработки и вывода геопривязанных данных о мобильных объектах и соотношенных с ними атрибутивных данных картографического фона для решения проблем контроля и управления подвижными объектами в пределах навигационно-мониторинговых комплексов переменного назначения. Решение поставленной задачи осуществлялось с использованием клиент-серверной технологии построения программного обеспечения, которое лежит в основе функционирования разработанной системы моделирования. Приведены характеристика основных составляющих системы, их взаимосвязь и средства разработки. Большое внимание уделено описанию логической структуры реляционных баз данных символов подвижных объектов и картографического фона, а также организации информационного взаимодействия между сервером баз данных и клиентскими приложениями, которые визуализируют агрегированные результаты обработки запросов к обеим базам данных в форме динамических сцен. Предложенная система может служить прототипом для создания эффективных навигационно-мониторинговых комплексов, а также призвана сформировать базис для дальнейших исследований по этой тематике в плане модернизации или доработки действующих комплексов с учетом выявленных недостатков в интересах всего диапазона пользователей.

**Ключевые слова:** навигационно-мониторинговый комплекс, база данных символов подвижных объектов, реляционная картографическая база данных, визуализация динамических сцен, клиент-серверная архитектура, SQL-запрос, потоки данных, попиксельное наложение изображений.

**Abstract.** The paper formulates topical scientific and applied task of creating a system that simulates the functions of collecting, processing and display of geo-referenced data about mobile objects and the correlated with them attribute data of cartographic background to solve the control and management problems of moving objects within the navigation and monitoring complexes of variable application. The solution of the task was carried out using a client-server technology to build software that underlies the functioning of the developed modeling system. The characteristic of the main components of the system, their interrelation and development tools are given. Much attention is paid to the description of the logical structure of relational databases of symbols of moving objects and cartographic background and organization of in-

*formation interaction between the database server and the client applications that visualize the aggregated results of the processing query to both databases in the form of dynamic scenes. The proposed system can serve as a prototype for creation of effective navigation-monitoring complexes, and is also intended to form the basis for further research on this topic in terms of improvement or refinement of existing systems, taking into account the identified deficiencies in the interests of the entire range of users.*

**Keywords:** *navigation-monitoring complexes, the symbols database of moving objects, relational cartographical database, visualization of dynamic scenes, client-server architecture, SQL-query, data flows, per-pixel overlay of images.*

## 1. Вступ

Актуальність досліджень, присвячених питанням ефективності навігаційно-моніторингових комплексів (НМК), особливо в умовах наростання військових конфліктів у різних країнах світу, на даний час вкрай висока. На сучасному етапі технологічного розвитку НМК змінного призначення (наземного, морського, повітряного, космічного тощо) зростають вимоги до точності, достовірності, доступності й оперативності забезпечення кінцевих користувачів інформацією про підконтрольні рухомі об'єкти (РО), які базуються у різних сегментах простору [1–4]. Спектр застосувань таких комплексів досить широкий і варіюється в залежності від задач, притаманних предметній області (ПрО), для якої ці комплекси розробляються, починаючи від тренажерних систем відображення різнотипних РО і закінчуючи реальнодіючими системами навігації та моніторингу, що функціонують у різноманітних цілях: безпека, підтримка логістичних функцій, заощадження коштів, економія палива, ресурсозбереження тощо.

До кола ключових завдань, що розв'язуються НМК у рамках кожної охопленої ПрО, належить високоякісна візуалізація на електронних картах заданого масштабу динамічних процесів [3, 5–10], пов'язаних зі зміною у часі і просторі параметрів оточуючої РО обстановки та безпосередньо стану самих РО, який характеризується поточними значеннями позиційних координат, кутів орієнтації та вектора швидкості. На сьогоднішній день навігаційні дані визначаються за допомогою супутникових систем позиціонування (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou) та інерціальними навігаційними системами, комплексне використання яких дає можливість збільшити точність отримуваної інформації.

Для підвищення адекватності екранного представлення контрольованої ситуації та оперативності у вирішенні задач просторового аналізу й управління мобільними об'єктами за рахунок використання детальної і актуальної цифрової картографічної інформації широко впроваджуються досягнення геоінформатики – геоінформаційні технології та системи. Засоби існуючих універсальних географічних інформаційних систем (ГІС) на зразок ArcGIS, MapInfo, Panorama, Digitalis дозволяють організувати збереження і відображення різнорідної геоінформації, розподіляти її на структуровані прошарки, формувати шкалу зміни показників залежно від галузі використання тощо [2, 3, 9, 11]. Тому ГІС виступає невід'ємним атрибутом НМК, забезпечуючи надання інтегрованих просторово координованих картографічних даних, з яких формується фон сцени, поверх якого за визначеними навігаційними даними наносяться різноформатні символи динамічних об'єктів, що переміщуються як в навігоземному просторі, так і на поверхні Землі.

НМК, що базуються на використанні глобальних навігаційних супутникових систем і телекомунікаційних технологій [12–14], припускають оснащення РО апаратурою супутникової навігації, яка забезпечує автоматичне визначення координат місцезнаходження за супутниковими навігаційними радіосигналами та періодичну передачу за допомогою підтримуваних каналів зв'язку в центр моніторингу телеметричної координатної і службової інформації, яка записується у відповідні бази даних (БД) інформаційного сервера. Ця інформація зберігається впродовж заданого проміжку часу для подальшого вилучення з метою візуалізації на картографічному фоні (КФ) як поточної інформації про місцеположен-

ня, напрямок і швидкість руху, так і історії переміщень одного або групи РО за обраний часовий інтервал.

Вибір кількості, типів і формату відображуваних РО обумовлюється цілями, задачами і функціональним призначенням окремого НМК, але об'єднуючим фактором для всіх НМК є реалізація навігаційно-моніторингових можливостей через взаємодію програмно-технічних засобів бортової апаратури споживача і диспетчерського пункту. Удосконалення за різними критеріями означених комплексів як сукупності взаємодіючих систем неможливе без адекватної оцінки ефективності їх поведінки. Відомо [3, 4, 10], що для побудови систем даного класу використовуються різні підходи, спільним недоліком яких є відсутність раціонального узгодження теоретичних моделей і програмно-апаратних засобів для їх реалізації.

З огляду на вищевикладене, виникає важлива науково-прикладна задача створення системи, що моделює функції збору, обробки та виведення геоприв'язаних даних про мобільні об'єкти і співвіднесених з ними атрибутивних даних картографічного фону для вирішення проблем навігації, моніторингу, контролю і керування РО. Розроблена система моделювання може слугувати прототипом для створення дієвих НМК, а також покликана сформулювати базис для подальших досліджень за цією тематикою у плані модернізації чи доробки наявних НМК з урахуванням виявлених недоліків. Даний підхід дозволить забезпечити гармонійну побудову і розвиток на єдиній платформі інформаційного й програмно-забезпечення НМК в інтересах усього діапазону користувачів.

## 2. Виклад основного матеріалу

Виходячи з характеру використання інформації користувачами, дані, які циркулюють у телекомунікаційній мережі НМК, можна розділити на дві частини: індивідуальні й колективні [1–3, 15]. Це, здебільшого, зумовлює застосування в диспетчерських центрах відповідно систем відображення індивідуального та колективного (групового) користування. В останніх виведення комп'ютерної інформації здійснюється на великі проекційні екрани або ж на «зшивні» (модульні) екрани відеостін [2, 3, 16]. Їх функціональне призначення полягає в одночасному забезпеченні великого числа користувачів інтегрованими даними від декількох джерел шляхом інтелектуального ситуативно-залежного відображення різномірної інформації в багатовіконному режимі на одному великому екрані.

Сценарії виведення інформації та її представлення і розміщення на відеостіні задаються за допомогою спеціалізованого управляючого програмного забезпечення й реалізуються програмними або апаратними контролерами, до функцій яких входить прийом аналогових і цифрових сигналів від різних пристроїв (комп'ютерів мережі, камер відеоспостереження, веб-камер, інших систем тощо) та управління відображенням зібраної і накопиченої інформації. При цьому для досягнення високої синхронності відображуваного контенту в максимально можливому масштабі, з високим ступенем деталізації і без втрати якості необхідне налаштування кожного складового дисплея відеостіни окремо.

Зазначені рішення в деяких випадках мають переваги, частіше експлуатаційні й економічні, проте багатотермінальні системи індивідуального користування за своїми функціональними показниками більш ефективні [1, 15]. На їх основі можливо реалізувати режим колективного використання інформації, дублюючи її на кожному з терміналів, що робить такі системи більш гнучкими за призначенням, адже вони легко адаптуються до будь-якого типу призначення НМК без додаткових налаштувань.

Варіант споживання однієї й тієї ж інформації множиною користувачів породжує задачу раціонального використання системних ресурсів. Найбільш підходящою з цієї точки зору є організація доступу до даних на основі технології «клієнт-сервер» з реалізацією на базі локальної, можливо й глобальної (Internet), мережі [1, 3, 15, 17–19]. Для моделювання роботи розподіленого НМК, головним чином в частині обробки, формування, відображення

та трансформації послідовності динамічних сцен, які імплементують конкретний динамічний сценарій розвитку ситуації в зоні контролю РО, виділено основні складові програмно-технічної системи та напрямки обміну інформацією в ній, що зображені на рис. 1.

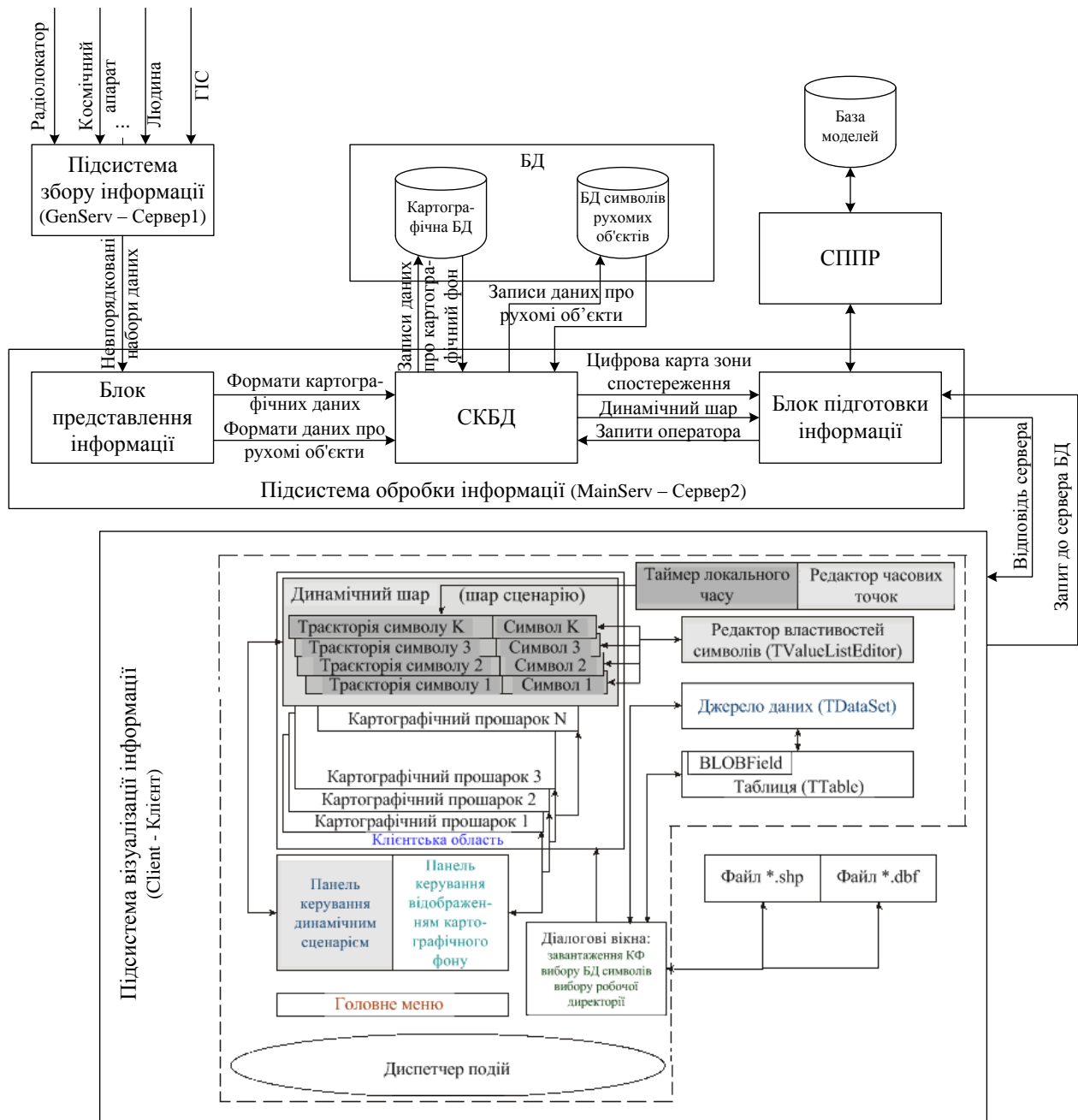


Рис. 1. Структурна схема клієнт-серверної системи моделювання поведінки розподіленого НМК із зазначенням напрямків потоків даних у його мережі

З позицій системного підходу запропонована клієнт-серверна система моделювання містить множину взаємозалежних і взаємодоповнюючих елементів, кожен з яких пов'язаний з іншим елементом, причому дві будь-які підмножини цієї множини, виконуючи покладені на них самостійні функції, не можуть бути незалежними, не порушуючи цілісності та єдності всієї системи. Доцільність використання клієнт-серверної технології побудови програмного забезпечення, що лежить в основі функціонування системи, пояснюється чітким розмежуванням функцій між програмними модулями та розподіленням операцій по

різних комп'ютерах [17–19].

Для вирішення задач збору, аналізу та оцінки інформації організуються інформаційні потоки, які відтворюють контрольований процес за необхідними параметрами. Як видно з рис. 1, потоки даних у системі маршрутизуються між двома серверами – GenServ (сервер 1), MainServ (сервер 2) і клієнтом (множиною клієнтів) Client.

Перший сервер GenServ моделює роботу засобів збору даних, наприклад, радіолокатора, і генерує через задані проміжки часу дані про нові рухомі об'єкти, видаляє старі й оновлює динамічні характеристики для поточних об'єктів, які відображуються у сцені. Через нього також забезпечуються оновлення та актуалізація картографічної інформації. Другий сервер MainServ вирішує задачі прийому даних від першого, їх збереження, ведення реєстру історії подій і передачі даних клієнтам.

Ті сервери утворюють базову мережеву систему збору й обробки інформації з централізованим її зберіганням.

На стороні кожного клієнта (Client) розміщуються елементи користувацького інтерфейсу із графічним редактором для створення і модифікації зображень різного формату, що описують символи РО. Пакет прикладних програм (ППП) формування динамічних сценаріїв організує клієнту візуалізацію на КФ переміщень як за заданим, так і за довільним маршрутом, складних з розширеною атрибутикою символів, зображення яких орієнтовані відповідно до курсу реальних об'єктів, що генерується сервером GenServ.

Для підвищення ефективності дій операторів, швидкого сприйняття і адекватної оцінки ситуації та з метою сприяння прийняття ними коректних рішень, пов'язаних з керуванням РО, позиція яких періодично змінюється відносно просторово локалізованих географічних об'єктів, що презентуються на електронних картах, задіяних у сцені, пропонується такий графічний інтерфейс, який дозволяє її відображення у зручному і адаптованому до користувача вигляді (рис. 2).

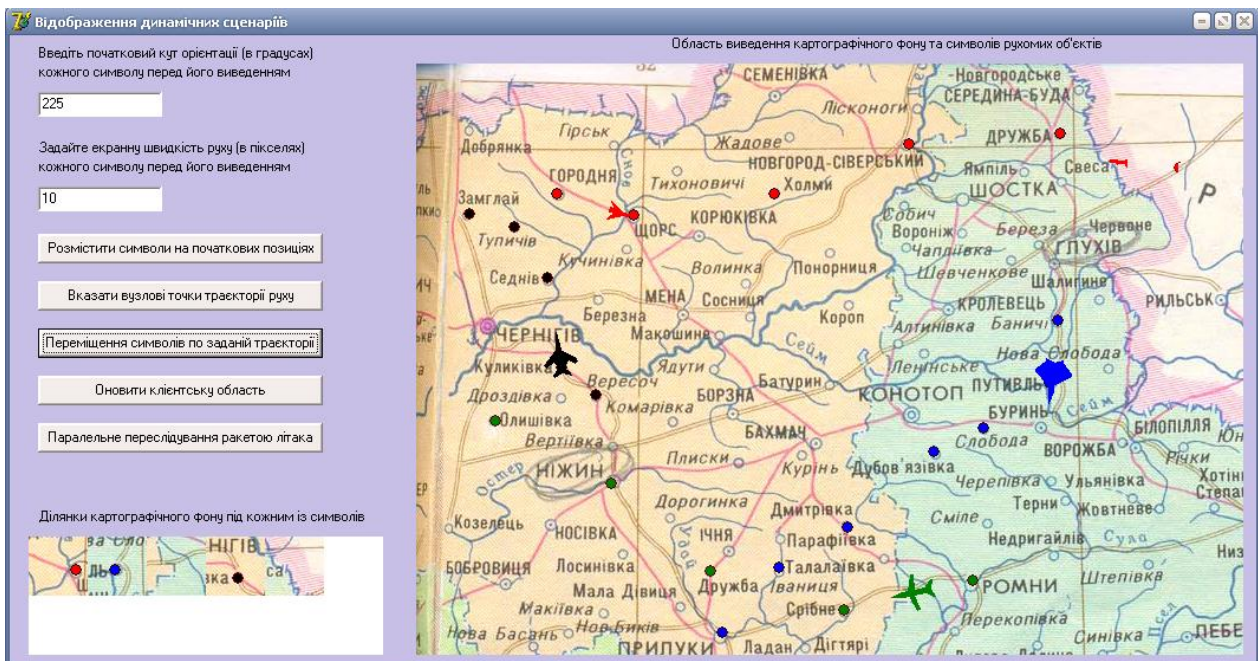


Рис. 2. Користувацький інтерфейс системи моделювання

Обробка даних у розробленій системі моделювання виконується, переважно, на стороні сервера MainServ і складається з декількох етапів, які враховують напрямок надходження даних у підсистему – від сервера GenServ чи від клієнтів Client. Ці етапи включають:

- початковий збір (із зовнішніх джерел) даних про РО та асоційовану з ними ділянку геопростору;
- впорядкування та фільтрацію зібраних вхідних даних;
- перерахунок просторових координат на екранні;
- прогнозування, при необхідності, значень координат місцезнаходження РО через заданий період часу за допомогою засобів системи підтримки прийняття рішень (СППР) інтерполяційним методом;
- систематизацію та організацію зберігання накопичених даних для подальшого використання, а також здійснення внутрішнього пошуку і швидкого вилучення з БД потрібних даних у процесі візуалізації сцени.

Спочатку обробляється динамічна інформація, яка характеризує стан об'єктів керування, а потім аналізуються параметри середовища, в якому вони знаходяться, перш за все, на предмет вибору кількості і складу тематичних шарів КФ. Далі на основі відібраних шарів формується статична, впродовж контрольованого проміжку часу, складова сцени – картографічне зображення відповідної зони простору у заданій системі координат, після чого виконується процедура зв'язування координатних даних області картографічного фону з попередньо обробленими позиційними координатами конкретного РО.

У подальшому на стороні клієнта у місцевизначену ділянку фону виводиться з пріоритетом, що означає перекриття пікселів фону пікселями символу, сконфігуроване відповідно до напрямку руху по заданій траєкторії зображення стилізованого символу. Реалізація пріоритетності виведення на картографічний фон тіла растрового символу з одночасним забезпеченням прозорості його фонових пікселів [20] уможливується завдяки першочерговому накладанню прив'язаної до нього бінарної (чорно-білої) маски з використанням логічної операції AND, за яким слідує накладання кольорового зображення символу, використовуючи операцію OR. Послідовне накладання двох копій зображень символу на зображення розрахованої області фону виконується у проміжному буфері, а на екран оператора виводиться результуюче зображення, отримане внаслідок «суперпозиції» трьох зображень.

Програмний блок MainServ одночасно виконує функції сервера по відношенню до блоку Client і клієнта по відношенню до GenServ.

У підсистемі зберігання і обробки даних задачею блоку представлення інформації є запис прийнятих від GenServ даних у потрібному форматі, в той час як блок підготовки даних акцентує увагу не на загальній інтерпретації інформації, а на формулюванні адекватних відповідей на запити Client. База моделей (у складі блоку СППР) являє собою математичний опис керованих об'єктів, що дозволяє моделювати їх поточний та прогнозований стан на основі знань сукупності їх окремих параметрів.

Названа підсистема зберігає у двох окремих БД координати просторових (точкових, лінійних і полігональних) об'єктів КФ, а також символів РО і пов'язані з ними описові характеристики (атрибути) та дозволяє створювати результати запитів, які надають користувачеві тільки потрібну, конкретну, контекстно-пов'язану інформацію.

Картографічна БД призначена для зберігання тематичних, графічних і просторових атрибутів картографічного фону, які є складовими елементами динамічних сценаріїв, реалізуючи через систему керування базами даних (СКБД) їх комплексний вибір за запитами ППП-клієнта.

У свою чергу, БД символів реалізує зберігання семантичних і метричних параметрів графічних символів рухомих об'єктів, які залучаються для формування динамічних сценаріїв, та забезпечує засобами СКБД їх селекцію за запитом ППП-клієнта.

Блок БД у вигляді набору файлів знаходиться у зовнішній пам'яті сервера MainServ мережі. Необхідно підкреслити, що створення кожного виду БД і звернення до них за запитом користувача або клієнтської програми здійснюється за допомогою СКБД, яка та-

кож розташовується на сервері MainServ. Особливістю зазначених баз даних є підтримка віддаленого доступу до них на основі дротових або бездротових комунікаційних мереж. СКБД інкапсулює відомості про фізичну структуру кожної БД.

Логічна структура елементів згаданих баз даних визначається обраною реляційною моделлю [4, 21], що збирає логічно згруповані дані в уніфіковані таблиці, кожній з яких присвоюється унікальне ім'я в межах БД. Як картографічна БД, так і БД символів у цій моделі складається з набору різних таблиць, що мають фіксовані набори стовпчиків (полів) і змінну кількість рядків (записів), які описують відповідні об'єкти.

Кожен рядок у таблиці відповідає екземпляру об'єкта-сутності. Кожен стовпчик – це поименоване поле, яке має ім'я, що відповідає атрибуту, який міститься у цьому полі. Одне й теж поле може бути присутнім у декількох таблицях. Оскільки, згідно з концепцією реляційних БД, рядки в таблицях не впорядковані [21], то для кожної таблиці визначається унікальний ідентифікатор – первинний ключ (primary key) як один або більше стовпчиків, значення яких однозначно ідентифікують кожен рядок у таблиці. Зв'язок між таблицями підтримується за допомогою зовнішніх (вторинних) ключів, поля яких містять посилання на поля первинного ключа в іншій таблиці. При цьому для даного конкретного зовнішнього ключа таблиця, що містить потенційний ключ, є головною (батьківським відношенням), а таблиця, що містить зовнішній ключ (foreign key), є підлеглою (дочірнім відношенням).

Маніпулювання даними, що зберігаються в обох БД, здійснюється за допомогою набору базових операцій CRUD (Create, Read, Update, Delete), які породжують і модифікують таблиці або виділяють дані, потрібні для конкретної задачі, без зміни таблиць. Користувач може заносити в базу нові дані, комбінувати таблиці, вибираючи окремі поля і записи, та формувати нові похідні таблиці для відображення на екрані різних варіантів динамічних сцен, що використовують дані цих таблиць.

У ході візуалізації кожної динамічної сцени ППП-клієнт ініціює звернення до СКБД, розташованої на сервері, на вибірку або оновлення інформації (рис. 3). Для «спілкування» використовується спеціальна мова запитів SQL (Structured Query Language), тобто по мережі від клієнта до сервера передається лише текст запиту. Засоби мови містять оператори з'єднань з базою даних, відкриття і сортування реляційних таблиць з даними, вибірки потрібних записів, а також створення звітних форм злиттям таблиць, тощо. Після отримання тексту запиту СКБД ініціює звернення до даних, що знаходяться на тому ж сервері. В результаті чого на сервері здійснюється необхідна обробка даних, а на клієнтський комп'ютер копіюється лише результат виконання запиту. Таким чином СКБД повертає результат у клієнтську частину додатка. Додаток, використовуючи користувацький інтерфейс, відображає результат виконання запитів у вигляді оновленої динамічної сцени.



Рис. 3. Схема організації роботи з базою даних у розробленій системі моделювання з клієнт-серверною архітектурою

Клієнтські комп'ютери, на кожному з яких встановлений клієнтський додаток, що містить функції для роботи з БД, об'єднано у локальну мережу. Користувач працює з кожною віддаленою базою даних, відправляючи оформлений за встановленими правилами запит на обслуговування, обробка якого здійснюється на сервері баз даних.

На сервер баз даних покладається цілий комплекс дій по управлінню даними, основними серед яких є такі:

- зберігання та резервне копіювання даних;
- підтримка посилальної цілісності даних згідно з визначеними в БД правилами;
- забезпечення авторизованого доступу до даних на основі перевірки прав і привілеїв кожного користувача;
- прийом запитів від програм-клієнтів;
- інтерпретація прийнятих запитів;
- виконання запитів користувачів на вибір та модифікацію даних, які беруть участь у формуванні динамічної сцени;
- відправка результатів додатка клієнта;
- протоколювання операцій і ведення журналу транзакцій.

Особливістю головного сервера MainServ є можливість одночасного обслуговування множини запитів, одержуваних від клієнтських додатків, що функціонують на робочих станціях локальної мережі.

Розподіл функцій між сервером і клієнтом за принципом технології «клієнт-сервер» реалізовано так, що до «компетенції» ППП-клієнта віднесено такі функції:

- реалізація графічного діалогу з користувачем;
- прийом команд від оператора, пов'язаних з керуванням РО, їх попередня локальна обробка й передача, при необхідності, у блок СППР;
- керування введенням-виведенням інформації, необхідної для моделювання графічної сцени лінійних і обертальних переміщень множини символів РО;
- формування, в тому числі у процесі графічного діалогу, і надсилання запитів до головного сервера;
- прийом динамічних характеристик керованих об'єктів та параметрів картографічного фону від головного сервера;
- інтерпретація результатів запитів, отриманих від сервера;
- реалізація ряду геометричних або графічних перетворень над кадрами динамічної сцени для покращення якості її відображення;
- управління кешованою локальною базою даних КФ та символів різномісних РО;
- формування вхідних агрегованих даних для каналу виведення динамічного сценарію, які включають список графічних об'єктів, що відповідають елементам сформованого динамічного сценарію, а також параметри, які визначають сукупність і характеристики геометричних перетворень процесу візуалізації й прив'язки окремих графічних об'єктів до поверхні відображення;
- представлення сукупних результатів запитів користувачеві у формі динамічної сцени в адаптованому інтерфейсі користувача.

Отже, взаємодія клієнта і сервера БД реалізується за допомогою SQL-запитів, які формує і посилає серверу клієнт. Сервер, прийнявши запит, виконує його і повертає результат клієнту. У клієнтському додатку в основному здійснюються інтерпретація отриманих від сервера даних, реалізація користувацького інтерфейсу, а також імплементація частини бізнес-правил (логіки Про).

Програмне забезпечення і серверних, і клієнтських частин системи написано об'єктно-орієнтованою мовою програмування Object Pascal у візуальному середовищі Borland Delphi 7.0 з використанням механізму серверних і клієнтських сокетів (TServerSocket і TClientSocket). У процесі розробки програмного забезпечення були формалізовані і реалізовані відповідно до об'єктно-орієнтованого підходу програмні об'єкти, які беруть участь у моделюванні кожної динамічної сцени [8, 15]. Для оперування елементами модельованої системи розроблено класи: «Динамічний сценарій», «Динамічна сцена», «Символ рухомого об'єкта», «Картографічний фон», «Тематичний шар» та ін.



Розпаралелювання процесів підготовки складових елементів образу сцени виконано на базі вбудованого в Delphi спеціального класу для організації потоків – TThread, тобто мультипрограмування реалізовано на рівні ниток (threads). Економія як дискового простору, так і оперативної пам'яті, необхідних для функціонування ППП-клієнта, досягалась реалізацією його основних програмних компонентів у вигляді DLL-модулів, що завантажуються в оперативну пам'ять динамічно. Одним із аргументів на користь використання DLL (Dynamic-link library – динамічно приєднувана бібліотека) є також можливість повторного використання коду, якою можна скористатися, наприклад, у разі доробки чи модифікації НМК змінного призначення, що еволюціонує у часі, з використанням інших мов програмування.

У спроектованій системі моделювання для роботи з реляційними БД, які включають опис КФ і символів РО, застосовано одну з найбільш потужних СКБД архітектури «клієнт-сервер» – Microsoft SQL Server, яка дозволяє задовольняти такі вимоги, які пред'являються до систем розподіленої обробки даних, як тиражування даних, паралельна обробка, підтримка великих баз даних, реалізуючи оговорені вимоги на відносно недорогих апаратних платформах при збереженні простоти програмного управління і використання БД.

ППП-клієнт підтримує роботу як з растровими, так і з векторними форматами картографічних даних [22, 23], дозволяючи зчитувати файли таких відомих ГІС-пакетів, як ArcView (\*.shp, \*.shx, \*.dbf), MapInfo (\*.mif, \*.tab), Digitals (\*.dmf). Для задач зберігання і передачі геопросторових даних домінує векторний спосіб їх представлення. Щоб зчитати заголовну інформацію з файла формату \*.dbf, при розробці клієнтського додатка використано компоненти TTable і TDataSource, а для збереження великих бінарних масивів картографічної інформації задіяні BLOB-поля записів у таблиці TTable. В контексті СКБД BLOB (Binary Large Object) – це спеціальний тип даних, призначений, насамперед, для зберігання зображень, аудіо і відео, а також компільованого програмного коду.

Одним із головних показників, що характеризують роботу клієнтської частини розробленого додатка, є продуктивність, яка детермінується кількістю графічних примітивів векторних зображень або розміром піксельних матриць растрових зображень як картографічного фону, так і символів рухомих об'єктів, що обробляються в темпі формування одного кадру сцени. Підвищення його продуктивності надасть можливість відображати за час розгорнення кадру більший обсяг інформації, що приведе до можливості вирішення якісно нових завдань. Тому для забезпечення достатньої швидкодії графічних перетворень під час формування динамічних сценаріїв первинно було обрано курс на суміщення структур компонентів, які відповідають за відображення картографічної інформації і характеристик символів, поряд із синхронізацією за часом появи різних символів об'єктів у конкретному сценарії.

Основні структурні елементи ППП-клієнта [1, 24] (у складі підсистеми візуалізації інформації) і зв'язки між ними подано в нижній частині рис. 1. Пунктиром обведено множину компонентів, які, взаємодіючи, реалізують функції формування динамічних сценаріїв. Серед них затінені ті, які безпосередньо відносяться до побудови динамічної складової кожної сцени. Решта компонентів беруть участь у цьому процесі як допоміжні, включаючи пошарову картографічну візуалізацію векторних даних [3, 5] та растрової геоприв'язаної підложки.

Динамічний шар сценарію містить інформацію про символи, присутні в кожній сцені, і про траєкторії їхнього руху, шаблони яких задаються опціями користувацького інтерфейсу програми-клієнта. Крім того, дані про поточну трасу руху для кожного символу можуть бути отримані ще двома шляхами:

1) в інтерактивному режимі на підставі графічних даних у клієнтській області вікна виведення сцени, які нанесені оператором поверх набору картографічних прошарків у вигляді реперних точок (рис. 2);

2) у залежності від масиву значень часових міток, які встановлюються за допомогою редактора часових точок, що керує часом появи символу у сцені в заданій точці КФ.

У свою чергу, атрибутивна інформація про символ, співставлений реальному об'єкту заданого типу, може бути сформована в редакторі властивостей символів, реалізованому на базі компонента Delphi – TValueListEditor, що представляє список рядків, які містять набір пар «ім'я, значення». При цьому корельовані зображення і базові характеристики для опису символу завантажуються з файла-джерела символної БД. В процесі завантаження елементів динамічної сцени задіяні діалоги вибору робочої директорії та вибору файла-джерела БД символів, а також компоненти, які представляють цю БД в програмі (аналогічно до картографічної БД) – таблиця TTable і джерело даних TDataSet – та дозволяють програмно зробити вибір конкретного символу з БД.

За допомогою панелі управління відображенням картографічного фону можна регулювати масштаб візуалізації, який поширюється на весь КФ або на вибірккову ділянку електронної карти, включати/відключати відображення (видимість) окремих прошарків.

Оскільки у процесі розробки ППП використано модель об'єктно-орієнтованого представлення даних і поведінки програмних компонентів, то всі необхідні дії при формуванні динамічних сценаріїв реалізуються як реакція програмної системи на відповідні події інтерфейсу за допомогою диспетчера подій, успадкованого від основного класу додатків (TApplication).

Більше того, всі графічні класи Delphi, включаючи канву для малювання TCanvas, та поля, якими вони володіють: пера TPen, пензлі TBrush і шрифти TFont, підтримують події, що відповідають за зміни, які відбулися з об'єктом, що використовує їх. У результаті обробки цих подій компоненти і, отже, додаток, який складається з них, перемальовують свої зображення у відповідь на зміни, що відбулися, внаслідок чого вміст зображення динамічного сценарію постійно змінюється. Символи РО змінюють місцеположення і орієнтацію з урахуванням лінійної та кутової швидкостей, зникають з області спостереження або, навпаки, з'являються в ній. Зважаючи на це, події присутності символів об'єктів у сцені слід рознести або сумістити в різних часових інтервалах. Розв'язання щойно поставленої задачі зводиться до того, щоб кожній географічній точці, яка задає вузли руху конкретного символу об'єкта, приписувати часову координату – момент часу, в який цей символ має бути виведений у даній точці.

Процес формування динамічних сценаріїв може відбуватися або в реальному, або в модельованому часі, який можна наблизити до реального проміжку часу. Модельований час зручно застосовувати на етапі побудови і відлагодження сценарію, коли виникає необхідність повернутися на декілька кроків назад для перегляду історії подій або «прокрутити» кадри сцени вперед, починаючи з деякої часової точки. При відтворенні сценарію час бажано видавати в режимі реального часу [1, 3, 6, 8, 24], який припускає виконання процедур генерації і виведення на екран кадрів кожної сцени за час, не більший 20 мсек.

Незалежно від поточного типу Про застосування НМК змінного призначення при побудові динамічних сценаріїв переміщень РО можливі два варіанти моделювання його поведінки, які реалізуються за участю користувача в інтерактивному режимі:

1) розглядається пара «час, простір», яка тлумачиться так, що кожній контрольній часовій точці ставиться у відповідність фіксована множина символів об'єктів заданого типу: на першому кроці моделювання в початковій сцені у визначених позиціях розміщуються ті символи РО, які відповідають першій заданій часовій точці, для кожного з цих символів на модельованому часовому інтервалі вказуються координати їх місцеположення на КФ, по завершенні якого виконується перехід до наступної часової точки, і попередні кроки повторюються для оновленої множини символів;

2) розглядається пара «простір, час», яка трактується так, що символи РО заносяться у сцену в рандомному порядку їх появи, для кожного з них відразу задаються реперні

вузли [25], через які повинен пройти конкретний символ, і вказуються часові точки для цих вузлів.

Явними недоліками першого варіанта є те, що процес складання сценарію може займати час більший, ніж час його відтворення. Таке припущення пояснюється тим, що час інтерактивного опису сценарію буде складатися з часових проміжків між контрольними часовими точками, і часу, який витрачається, щоб задати необхідні параметри всіх задіяних символів у цих точках. На оператора під час опису сценарію покладається задача завчасного розрахунку таких допоміжних параметрів кожного символу, як початкова швидкість і напрямок руху для коректного відтворення взаємного розташування символів. У зв'язку з цим другий варіант представлення сценарію є більш доцільним, оскільки для його реалізації потрібен лише час для вказівки координат географічного положення символів і прив'язаних до них часових точок, причому решта допоміжних параметрів символів обчислюється клієнтським додатком на основі зазначених базових параметрів.

Під час інтерактивного складання оператором сценарію можна виділити в його діях такі ключові етапи:

- сформувати зображення поточного картографічного фону, завантаживши необхідні прошарки із заданого набору;
- увійти до режиму редагування сценарію і активізувати його динамічний шар;
- в ітераційному циклі по черзі додати у сцену послідовно, один за одним, символи РО, для кожного з яких вказати позиції вузлових точок траєкторії, які перетинають у процесі руху включені у сцену символи, і часові мітки для цих точок;
- запустити і перевірити хід сценарію в покроковому або безперервному режимі його відтворення;
- зберегти в окремому файлі опис сценарію на випадок повторного відтворення.

Цей опис визначає вміст (контент) даних сценарію шляхом перерахування покажчиків на список завантажених картографічних шарів та список дійових символів РО з описами траєкторій руху і посиланнями на описи характеристик перелічених символів, із зазначенням порядку і часу їх виходу на задану сцену.

Процес візуалізації руху символів у реальній і модельованій обстановці має певні відмінності, спричинені початковими умовами. При відображенні реальної обстановки поточні координати та інші параметри руху визначаються на основі даних, що надходять від керованого об'єкта, а не моделюючою обстановку системою. Це призводить до відсутності апіорних даних про трасу руху, що сприяє значному спрощенню конкретної реалізації опису рухомого об'єкта.

### **3. Висновки і обговорення**

У результаті проведеного дослідження запропоновано систему моделювання поведінки навігаційно-моніторингових комплексів змінного призначення, яка спрямована на роботу операторів у термінальному режимі групового використання інформації з організацією доступу до даних по комп'ютерній мережі на основі технології «клієнт-сервер». Вона складається з двох серверів, які утворюють базову мережеву систему збору й обробки інформації з централізованим її зберіганням, та множини клієнтів, на стороні яких розміщуються графічні елементи користувацького інтерфейсу розробленого програмного додатка, що надало можливість в інтерактивному режимі змоделювати за різними варіантами динамічні сценарії обстановки, яка включає як однотипні, так і різнотипні рухомі об'єкти наземного, морського, повітряного та космічного базування.

В укрупненій формі структуру запропонованої системи моделювання, яку можна взяти за прототип для розробки різновидів ефективних навігаційно-моніторингових комплексів незалежно від архітектури та предметної області їх застосування, становить сукупність окремих, але взаємопов'язаних, частин: компоненти підсистеми збору інформації;

компоненти підсистеми обробки зібраних даних; компоненти візуалізації обробленої інформації. Взаємозв'язок її елементів відбиває потоки даних, що циркулюють між компонентами системи при її функціонуванні.

Для спроектованої системи моделювання поведінки навігаційно-моніторингових комплексів змінного призначення визначено схеми інформаційних потоків, які відображають маршрути руху інформації про символи мобільних об'єктів і співвіднесені з ними картографічний фон та її обсяги, а також місця виникнення первинної інформації і використання результатної інформації. За рахунок аналізу структури такої системи можна виробити заходи щодо вдосконалення побудованих і функціонуючих за подібною схемою навігаційно-моніторингових комплексів для підвищення ефективності: процесів управління, зберігання та подання інформації, а також обробки й підтримки прийняття рішень кінцевими користувачами. З-поміж таких заходів виділено першочергові: класифікація, уніфікація і раціональне представлення інформації, якою обмінюються складові підсистеми; розмежування доступу до просторово-розподіленої інформації, що зберігається в цифровому вигляді у формі баз даних; виключення дублюючої інформації; зменшення обсягу даних для ручної обробки; організація швидкого доступу до розподілених картографічних і символічних баз даних тощо.

Розроблена клієнт-серверна система уможливорює підтримку прийняття рішень за допомогою візуалізації даних про окрему територію спостереження рухомих об'єктів у режимі реального часу. Програмні модулі клієнтської частини додатка забезпечують візуалізацію динамічних сцен місцезнаходження рухомих об'єктів, яка дає можливість приймати рішення про територіальне охоплення зон спостереження, окреслити межі руху об'єктів, оптимізувати маршрути їх пересування. Динамічні сценарії формуються в комфортному масштабі часу за рахунок здійснення часової синхронізації появи різних символів об'єктів у сцені. Склад і зміст елементів кожної динамічної сцени можуть суттєво різнитися залежно від мети, поставленої перед конкретним навігаційно-моніторинговим комплексом. Крім того, склад її елементів за інших однакових умов залежить від сфери дії навігаційно-моніторингових комплексів.

Інформаційним ядром системи виступають окремі реляційні бази даних символів рухомих об'єктів і картографічного фону, які, разом із СКБД, розміщуються на стороні сервера. Зв'язки між таблицями обох баз даних забезпечуються за допомогою ключових полів – спеціально виділених стовпчиків таблиць. Так, в картографічній базі даних зв'язок між геометрією й атрибутами здійснюється за допомогою ключа – унікального коду картографічного об'єкта. Аналогічно, в символічній базі даних зв'язок між двома таблицями реалізується за рахунок введення до складу першої таблиці зовнішнього ключа, тобто ключа другої таблиці. Причому способи маніпулювання як символічними, так і картографічними даними базуються на використанні операторів мови структурованих запитів як декларативної (непроцедурної) мови програмування для взаємодії користувача з базами даних.

Головний сервер системи виконує обробку запитів оператора, які надходять через клієнтський додаток, на вибір та модифікацію даних динамічних сценаріїв. У процесі відображення кадрів сцени, які агрегують різнотипну інформацію картографічних шарів і складних символів рухомих об'єктів, виконуються процедури багатократного накладання у проміжному буфері областей зображень розрахованих ділянок фону і повнорозмірних зображень символів. Остаточне зображення, яке отримується після «злиття» вказаних зображень, виводиться на екран, дозволяючи в такий спосіб подолати явище мерехтіння.

Водночас в міру необхідності імплементуються функції, які стосуються розв'язання прикладних задач, наприклад, паралельне переслідування-втеча [8].

Моделювана обстановка в порівнянні з реальною ситуацією в зоні контролю рухомих об'єктів характеризується значною участю користувача для ініціалізації початкових параметрів моделювання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смолий В.В. Методы и средства синтеза и отображения динамических объектов (для центров оперативного управления): дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.13 / Смолий Виктор Викторович. – К., 2001. – 176 с.
2. Геоінформаційні комплекси реального часу для виявлення і попередження надзвичайних ситуацій на особливо важливих об'єктах / М. Васюхін, В. Гулевець, А. Касім [та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. – № 1 (17). – С. 238 – 244.
3. Касім А.М. Методи та засоби формування динамічних сценаріїв в навігаційно-керувальних комплексах: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Касім Аніса Мохаммадівна. – К., 2013. – 217 с.
4. Касім А.М. Специфіка використання геопросторових даних для задач аеронавігації / А.М. Касім, М.М. Касім, С.О. Ясенев // Наукоємні технології. – 2016. – № 1 (29). – С. 16 – 22.
5. Васюхин М.И. Метод визуализации картографического фона в геоинформационных комплексах реального времени / М.И. Васюхин, А.М. Касим // Політ: матеріали V міжнар. наук. конф. студентів та молодих учених, (Київ, квітень 2005 р.). – К.: НАУ, 2005. – С. 319.
6. Касим А.М. Метод организации движения сложного символа на экране геоинформационных аэронавигационных комплексов реального времени / А.М. Касім // Інженерія програмного забезпечення: матеріали конф. аспірантів і студентів, (Жукин, червень 2005 р.). – К.: НАУ, 2005. – С. 193 – 197.
7. Беляев А.Г. Метод визуализации аэронавигационной информации в системе ARGON / А.Г. Беляев // Математичні машини і системи. – 2000. – № 1, 2. – С. 106 – 113.
8. Пакет прикладних програм візуалізації повітряної обстановки в навігаційних геоінформаційних комплексах реального часу / М.І. Васюхін, В.Д. Гулевець, А.М. Касім [та ін.] // Моделирование и компьютерная графика: материалы 3-й междунар. науч.-техн. конф., (Донецк, 7–9 окт. 2009 г.). – Донецк: ДонНТУ, Министерство образования и науки Украины, 2009. – С. 49 – 62.
9. Шиндер В.С. Методы и программные средства для разработки систем поддержки принятия решений в задачах с пространственной информацией / В.С. Шиндер // Математичні машини і системи. – 2000. – № 2, 3. – С. 64 – 75.
10. Местецкий Л.М. Имитационная модель наземного движения воздушных судов в аэропорту / Л.М. Местецкий, Д.В. Щетинин // ИММОД-2003: сб. докладов 1-й Всероссийской конф. – Т. II. – СПб., 2003. – С. 84 – 88.
11. Васюхін М.І. Обґрунтування доцільності створення баз картографічних даних мультимасштабних карт реального часу інтерактивних геоінформаційних систем / М.І. Васюхін, А.М. Касім, М.М. Касім // Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта '2015: зб. матеріалів VI міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, (Київ, 19–20 листопада 2015 р.). – К.: НУБіП України, 2015. – С. 223 – 224.
12. Касім М.М. Алгоритмічні методи підвищення точності визначення просторово-часових координат мобільних агрегатів в системах цифрового землеробства / М.М. Касім, А.М. Касім // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2016: збірник матеріалів IV міжнар. наук.-практ. конф., (Київ, 23–24 червня 2016 р.). – Немішаєве: НМЦ «Немішаєве», 2016. – С. 58 – 60.
13. Башмаков М.В. Новые направления создания навигационно – мониторинговых систем МВД России с использованием современных навигационных и информационных технологий / М.В. Башмаков // Информационные технологии, связь и защита информации МВД России. – 2015. – № 1. – С. 46 – 49.
14. Бирюков Н.Л. Метрики оценки статистик стабильности сетей тактовой синхронизации с пакетной передачей сообщений / Н.Л. Бирюков, Н.Р. Триска, А.М. Касим // Проблеми телекомунікацій: зб. матеріалів IX міжнар. наук.-техн. конф., (Київ, 21–24 квітня 2015). – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 122 – 124.
15. Объектно-ориентированный подход к разработке программного обеспечения геоинформационного комплекса оперативного взаимодействия / М.И. Васюхин, В.Д. Гулевец, О.И. Капштык [и др.] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 2 (15). – С. 86 – 91.
16. Морозов А.А. Ситуационные центры. Понятия и определения / А.А. Морозов // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 48 – 54.

17. Касім А.М. Web-додаток для 2D-візуалізації результатів імітаційного моделювання руху аеро-космічних та наземних об'єктів з геоприв'язкою до електронної карти / А.М. Касім, М.М. Касім // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2016: тези доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. (Жукин, 27 червня – 1 липня 2016 р.) / М-во осв. і наук. України, Нац. Акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернівці: ЧНТУ, 2016. – С. 42 – 47.
18. Касім А.М. Стратегії організації клієнт-серверної взаємодії у web-орієнтованих геоінформаційних системах / А.М. Касім, М.М. Касім // Глушковські читання: зб. матеріалів IV наук.-практ. конф., (Київ, 02 грудня 2015 р.) – К.: Вид-во «Політехніка», 2015. – С. 73 – 75.
19. Басюк Т.М. Побудова геоінформаційної системи на базі технології клієнт/сервер / Т.М. Басюк, А.С. Василюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – (Серія «Інформаційні системи та мережі»). – 2011. – № 715. – С. 3 – 12.
20. Касім А.М. Формалізація процесу обробки даних для растрового маскування прозорості зображень рухомих об'єктів / А.М. Касім // Управляющие системы и машины. – 2016. – № 2. – С. 28 – 33, 84.
21. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных / К.Дж. Дейт. – [8-е изд.]. – Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1328 с.
22. Проблеми картографічної підтримки автоматизованої системи комплексного захисту аеропорту / М.І. Васюхін, О.І. Запорожець, В.Д. Гулевець [та ін.] // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2010. – Вип. 3 (31). – С. 30 – 38.
23. Касим А.М. Общие принципы проектирования программного обеспечения геоинформационной части аэронавигационных комплексов реального времени / А.М. Касим, С.М. Креденцар // Інженерія програмного забезпечення'2006: матеріали Всеукраїнської конференції аспірантів і студентів. – К.: НАУ, 2007. – С. 143 – 149.
24. Васюхін М.І. Методи генерації складних просторових переміщень при представленні повітряної обстановки (для центрів оперативного управління) / М.І. Васюхін, А.М. Касім, С.М. Креденцар // Технологические системы. – 2006. – № 3 (35). – С. 5 – 7.
25. Касим А.М. Метод реперных точек в создании динамических сцен / А.М. Касим // Наукоємні технології: матеріали наук.-техн. конф. студентів та молодих учених. – К.: НАУ, 2007. – С. 12.

*Стаття надійшла до редакції 07.09.2016*