

УДК 004.94::[623.765.4::355.422]

С.П. Ярош, А.Ф. Макаров, А.М. Савельєв, В.О. Калініченко

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, РЕАЛІЗОВАНИХ НА ОСНОВІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ “АРГУМЕНТ-2011”

*В статті розкривається зміст проведених удосконалень комплексу специфічних математичних моделей, реалізованих на основі геоінформаційної системи “Аргумент-2011”, що використовується для підтримки прийняття рішень командирів частин (підрозділів) ППО, висвітлюються напрямки подальшого розвитку системи.*

**Ключові слова:** модель, геоінформаційна система, підрозділ, частина, бойові дії, протиповітряна оборона.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сьогодні геоінформаційну систему (ГІС) прийнято розглядати як інформаційну систему, що забезпечує збір, зберігання, оброблення, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координованих даних [2]. Саме як база даних ГІС забезпечує вхідні просторово-координовані дані для моделей, що використовуються для оцінювання ефективності бойового застосування угруповань (частин і підрозділів) протиповітряної оборони (ППО). Наявність таких даних дозволяє підвищити оперативність і значно покращити точність вирішення таких задач, як побудова зон виявлення та поразення засобів ППО, обрання маршрутів для здійснення маневру підрозділів, визначення можливості зв'язку та ін., що в свою чергу відображається на точності розрахунків показників ефективності в моделях, що реалізовані на основі ГІС і використовуються в процесі підготовки та прийняття рішень на здійснення оборони об'єктів і військ від ударів з повітря.

Основними напрямками застосування ГІС у військах є [2]: обґрунтування прийняття рішень на різних рівнях управління; суттєве скорочення часу доведення інформаційних, передусім директивних, рішень до всіх зацікавлених користувачів і виконавців; підвищення достовірності та повноти оцінювання противника і своїх військ у штабних умовах і безпосередньо в польових (бойових) умовах; максимально повна інтеграція в систему добування та обробки даних; підвищення ефективності застосування систем зброї та озброєння.

Виходячи з цих напрямків, військова ГІС повинна підтримувати виконання як базових, так і специфічних функцій, що забезпечують її відповідні додатки. Саме розробка та удосконалення специфічних додатків ГІС дозволяє розширяти сферу застосування кожної конкретної геоінформаційної системи військового призначення.

**Аналіз літератури.** В сучасних умовах інтегрес до розробки та удосконалення військових

геоінформаційних систем зростає [2 – 5, 7]. У [2] розглянуті принципи організації, призначення, склад і функціонування ГІС, а також наведено стандарти подання даних, формати цифрової картографічної інформації, файлові формати даних у ГІС; описано особливості призначення, складу і завдань ГІС військового призначення та основні вимоги до їх функціонування; викладено особливості взаємодії ГІС військового призначення з АСУ військами (силами), а також організаційні аспекти впровадження геоінформаційних технологій у воєнній сфері.

У [4] викладені основи побудови ГІС військового призначення, порядок обробки геопросторових даних і відображення на електронній карті оперативної обстановки, надана характеристика основних інструментальних засобів, що використовуються для створення ГІС і систем підтримки прийняття рішення у військовій сфері.

У [5] як один з напрямків використання ГІС розглядається порядок зберігання результатів геопросторової розвідки.

Однак, проаналізовані джерела [2, 4, 5], як і більшість інших, висвітлюють базові функції геоінформаційних систем. На противагу їм, у [7] характеризуються комплекси математичних моделей, які забезпечують дослідження щодо обґрунтування тактико-техніко-економічних характеристик озброєння ППО, складу і побудови угруповань повітряно-космічної оборони, оцінки їх бойової ефективності. При цьому наголошується на тому, що в комплексах математичних моделей застосовуються елементи ГІС – сертифіковані електронні карти місцевості та матриці висот.

Аналізу специфічних функцій однієї з існуючих ГІС, яка активно використовується в галузі ППО ЗС України присвячена стаття [3]. В ній була надана характеристика комплексу специфічних математичних моделей реалізованих на основі геоінформаційної системи “Аргумент-2011”, їх можливості, порядок підготовки необхідних вихідних даних і проведення моделювання бойових дій зміша-

них угруповань ЗРВ і військ ППО СВ з використанням зазначених моделей.

Впродовж трьох років авторами були проведені роботи щодо удосконалення комплексу моделей ГС “Аргумент-2011”.

**Метою статті** є розкриття змісту проведених удосконалень комплексу специфічних математичних моделей, реалізованих на основі геоінформаційної системи “Аргумент-2011”, висвітлення напрямків подальшого розвитку системи.

## Виклад основного матеріалу

Удосконалення комплексу математичних моделей, реалізованих на основі геоінформаційної системи “Аргумент-2011”, проведено у таких напрямках: удосконалення існуючих моделей; підвищення достовірності отриманих у ході імітаційного моделювання результатів; розширення спектру моделей.

Удосконалення за кожним із зазначених на-

прямків мають такий зміст.

1. Удосконалення існуючих моделей.

1.1. Моделювання засобів повітряного нападу.

До складу моделей засобів повітряного нападу (ЗПН) додана модель вертольоту. В даній моделі здійснюється врахування ефективної поверхні розсіювання в залежності від кута опромінення цілі.

Додана можливість задавати маршрут польоту цілі введенням назви населених пунктів, над якими проходить траєкторія польоту.

1.2. Розрахунок бойових можливостей частин та підрозділів ППО.

Реалізована можливість розраховувати показники маневрених можливостей додатково до показників маршу (рис. 1). Для цього в закладці “Настроювання” вводяться часові показники згортання та розгортання (завантаження та розвантаження – для маневру з використанням залізничних доріг) підрозділів (частин).

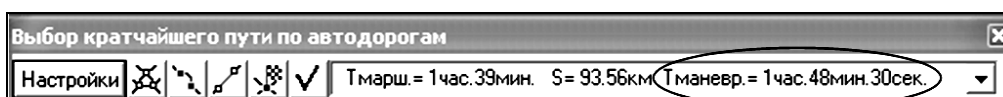


Рис. 1. Результати розрахунку показників маневрених можливостей

Додана опція автоматизованого вибору оптимальних позицій зрдн у позиційному районі. Для цього необхідно задати об’єкт і позиційний район навколо нього. Після визначення програмою всіх придатних позицій для розгортання зрдн оператором визначаються можливі місця для обладнання позицій і задається кількість дивізіонів, які необхідно розставити на даній кількості позицій. У результаті роботи моделі визначаються координати оптимальних позицій за критерієм максимальної кількості стрільб.

1.3. Моделювання бойових дій.

У ході моделювання бойових дій запропонована можливість оцінити вплив взаємодії між вогневими підрозділами ППО різних з’єднань і частин на ефективність сумісного виконання ними бойового завдання.

До початку моделювання є можливість обрати один з режимів: взаємодія відсутня; взаємодія відповідно до попередньо виданих розпоряджень; взаємодія в єдиному інформаційному просторі [9].

Обрані режими визначають порядок розподілу цілей між з’єднаннями й частинами ЗРВ (військ ППО СВ) угруповання ППО для знищення.

Режим “Взаємодія відсутня” – обстріл цілі, що перебуває в зонах вогню двох і більше з’єднань (частин), здійснюється одночасно кращим із підрозділів у кожному з’єднанні (частині) за умовами стрільби.

Режим “Взаємодія на рівні розпоряджень” – обстріл цілі, що перебуває в зонах вогню двох і

більше з’єднань (частин), здійснюється відповідно до встановлених правил взаємодії, які задаються при обранні даного режиму перед запуском процесу моделювання.

Режим “Взаємодія в єдиному інформаційному просторі” – обстріл цілі, що перебуває в зонах вогню двох і більше з’єднань (частин), здійснюється одним єдиним підрозділом, обраним із всієї сукупності підрозділів з’єднань (частин) угруповання, який є кращим за умовами стрільби по даній цілі.

1.4. Редактор топографічних знаків.

Редактор топографічних знаків (рис. 2) удосконалено шляхом забезпечення можливості генерувати та зберігати умовні знаки відповідно до “Тимчасового стандарту умовних знаків (другий стандарт) для графічного оформлення оперативних (бойових) документів у Збройних Силах України”, введеного в дію наказом начальника Генерального штабу ЗС України від 19.08.2013 № 180 [6]. Даний стандарт визначає основні положення щодо графічного оформлення оперативних (бойових) документів відповідно до стандартів держав-членів Європейського Союзу. В ході його розробки використано матеріали публікації НАТО APP-6(C) – “Міжвидові військові знаки НАТО”.

2. Підвищення достовірності отриманих в ході імітаційного моделювання результатів.

У програмі реалізований алгоритм отримання статистично стійких результатів моделювання для кожного з ешелонів дій ЗПН. Даний алгоритм дозволяє отримувати статистично стійкі результати

моделювання з заданою точністю на основі аналізу початкової вибірки певних випадкових величин,

розмір якої від 3 до 30 значень задається у вкладці “Настроювання” головного вікна програми.

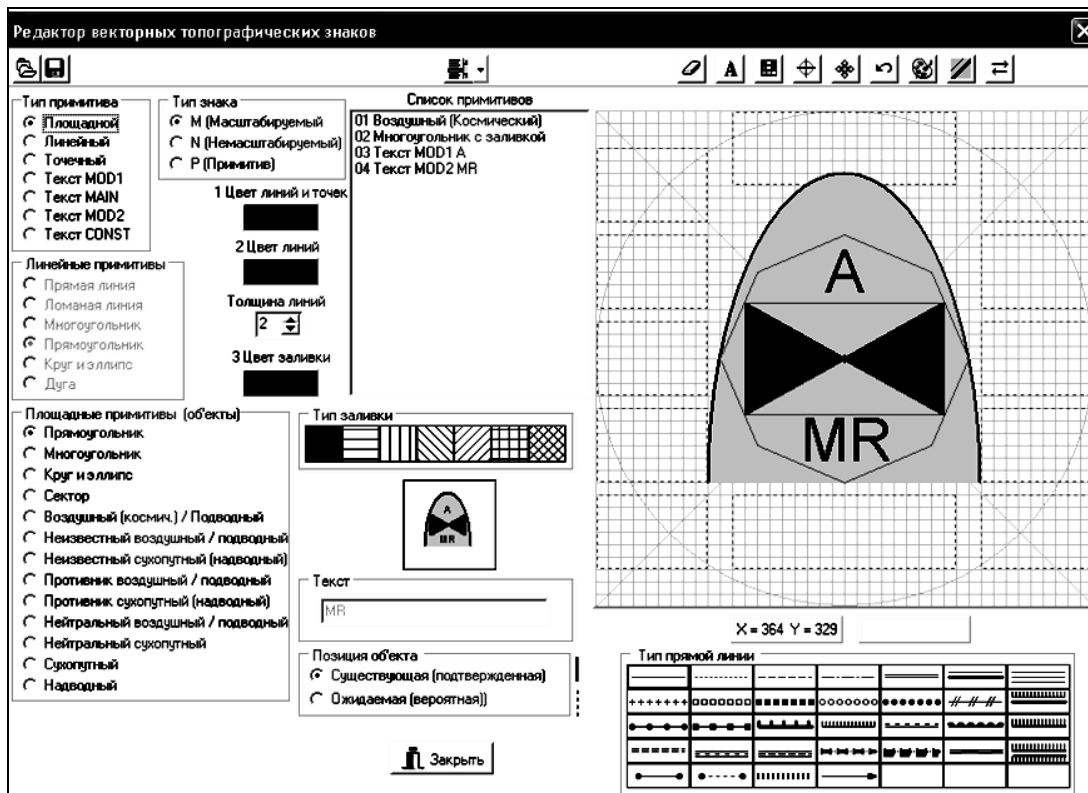


Рис. 2. Удосконалений редактор тактичних знаків

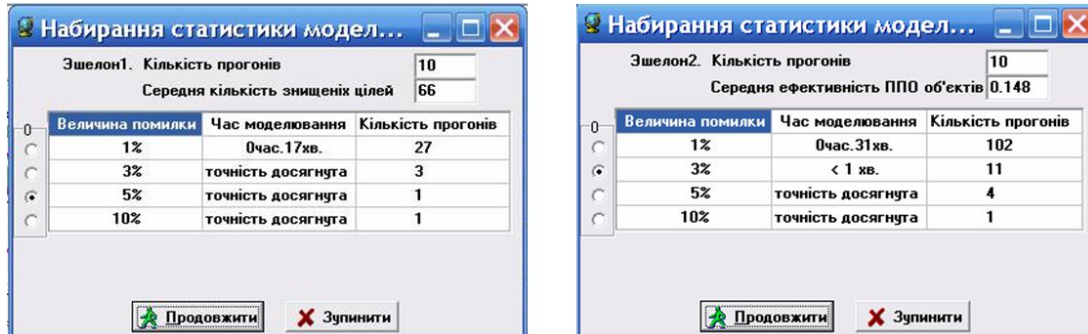


Рис. 3. Вікна обрання точності статистично стійких результатів для першого та другого ешелонів ЗПН

Як випадкові величини розглядаються: для першого ешелону – кількість знищених ЗПН противника, для другого – ефективність ППО об’єктів.

Кількість випробувань ( $N_{\text{випр.}}$ ), яку необхідно провести залежить від необхідної точності отримання даних ( $\Delta$ ) і дисперсії ( $\sigma^2$ ) наявної вибірки досліджуваної випадкової величини, з якими вона пов’язана таким співвідношенням [1]

$$N_{\text{випр.}} = \frac{4\sigma^2}{\Delta^2}. \quad (1)$$

Після проведення визначеної початкової кількості ітерацій програми на екрані з’являється вікно “Набирание статистики моделювання” (рис. 3), в якому будуть наведені результати обчислень необ-

хідної кількості ітерацій програми для отримання точності результатів 1 %, 3 %, 5 % і 10 %. Крім того, вказується час необхідний для отримання результатів з обраною точністю.

Після закінчення моделювання є можливість перегляду його результатів у редакторі Word. Дані таблиці відрізняються від таблиць сформованих для однократного прогону програми. У них наведені середні значення відповідних показників та їх дисперсія з обраною точністю.

3. Розширення спектру моделей.

3.1. Доповнення редактору тактичної обстановки “Редактором радіотехнічних військ (РТВ)” (рис. 4) і “Редактором важливих державних об’єктів (ВДО)” (рис. 5).

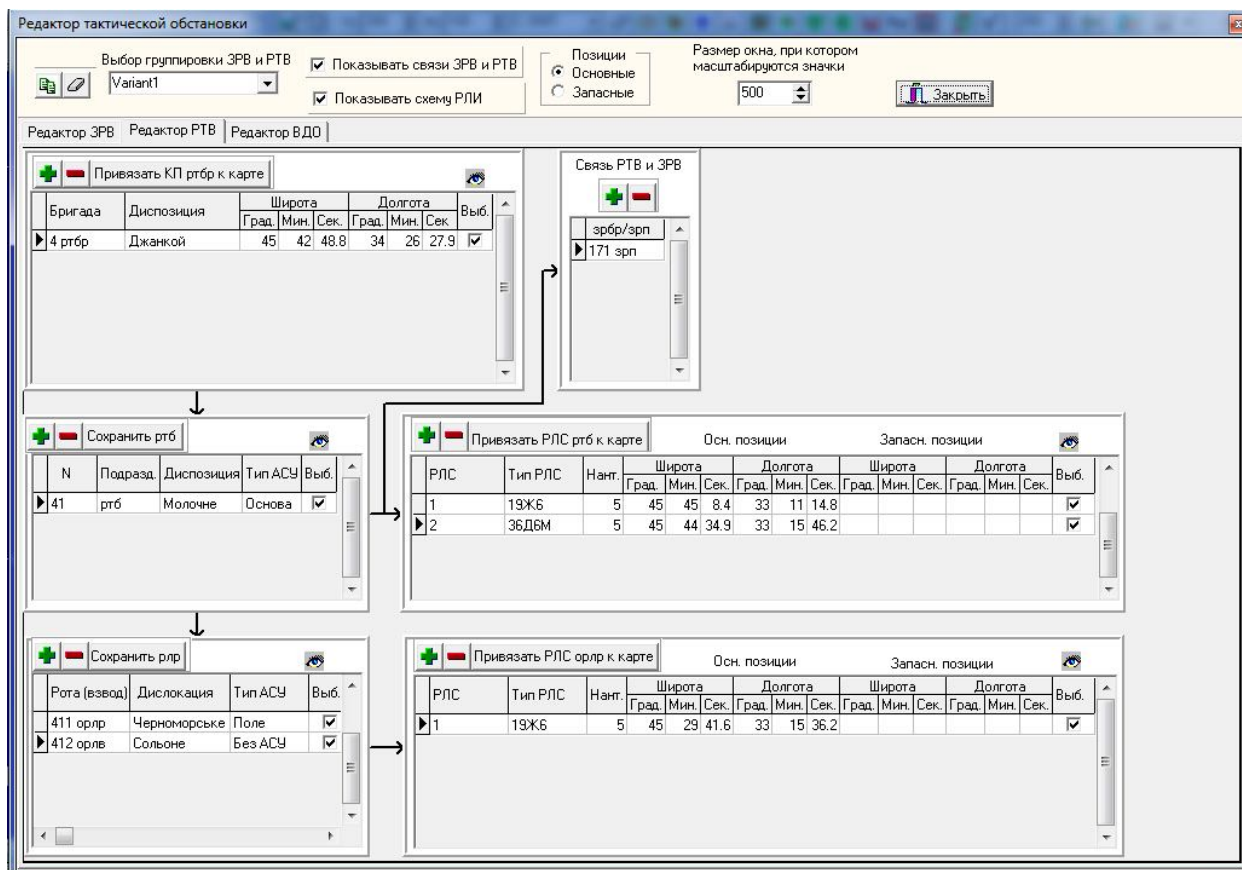


Рис. 4. Редактор РТВ

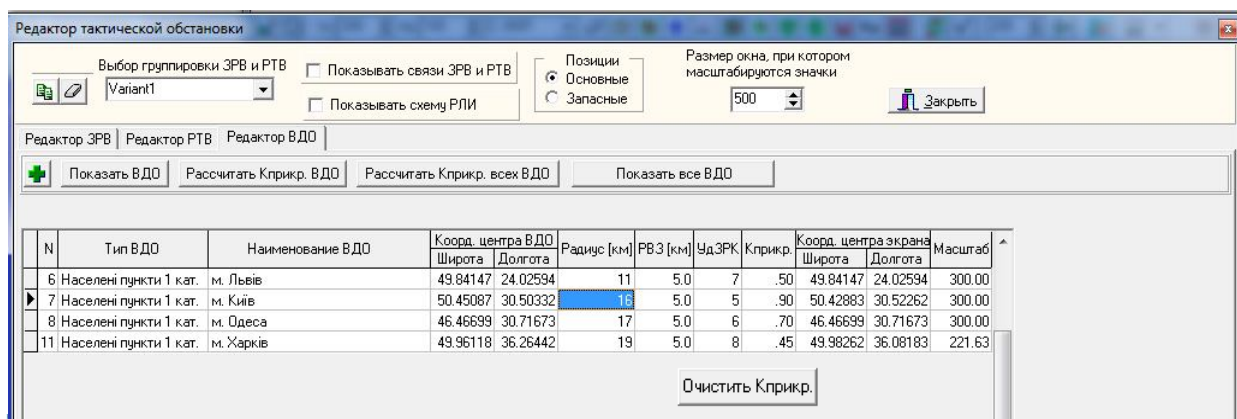


Рис. 5. Редактор важных государственных объектов

Після формування угруповання РТВ формується схема забезпечення частин і підрозділів ЗРВ радіолокаційною інформацією з використанням таблиці “Зв’язок РТВ і ЗРВ” (рис. 4). При цьому кожному обраному в таблиці *ртб* підрозділу на карті графічно ставиться у відповідність КП з’єднання (частини) ЗРВ, з яким *ртб* буде зв’язаний в ході моделювання.

Після формування угруповання РТВ є можливість відобразити перетин зон виявлення радіолокаційних засобів, що входять до його складу для обраних висоти та швидкості польоту цілей. Крім того, в процесі моделювання бойових дій враховуються

втрати радіолокаційних підрозділів, які фіксуються в підсумкових файлах програми.

При роботі в редакторі важливих державних об’єктів (рис. 5) задається вихідна інформація щодо ВДО та існує можливість розрахувати коефіцієнти прикриття ВДО як кожного в окремоті, так і всіх заданих у таблицю.

До вихідної інформації, яка вводиться в редакторі ВДО, належить: тип ВДО (АЕС, населені пункти першої категорії, греблі Дніпровського каскаду, об’єкти хімічної промисловості); найменування ВДО; координати центру ВДО (широта, довгота); радіус ВДО, км; РВЗ – відстань від межі об’єкту,

якої повинен досягти ЗПН для того, щоб вважати, що він поразив даний ВДО; координати центру екрану та масштаб, для яких досягається найкраще візуальне відображення ВДО та можливостей щодо його прикриття.

Розрахунок коефіцієнту прикриття ВДО ( $K_{пр}$ ) здійснюється для заданих висот і швидкості польоту цілей, за умов наявності угруповання ЗРВ поблизу даного об'єкту, за формулою

$$K_{пр} = \frac{N_{напр.пр}}{360} \cdot 100 = \frac{\sum_{i=1}^{360} \alpha_i}{360} \cdot 100, \quad (2)$$

де  $\alpha_i$  – індикаторна функція яка дорівнює 1, якщо напрямок прикритий, і дорівнює 0, якщо напрямок не прикритий;  $N_{напр.пр}$  – кількість прикритих напрямків.

Напрямок вважається прикритим, якщо в точці, геометричне місце якої визначається перетином променя, що виходить під кутом досліджуваного напрямку із центру об'єкту, з окружністю, яка утворюється обертанням радіуса  $R = R_{об} + R_{РВЗ}$ , є можливість поразення ЗПН із дотриманням умов стрільби.

Коефіцієнт прикриття може бути обчислений з кратністю 1, 2 та 3, у залежності від кількості дивізіонів, які можуть здійснити обстріл ЗПН.

3.2. Додана розрахункова задача “Визначення можливостей радіозв'язку” (рис. 6).

Ця розрахункова задача дозволяє: побудувати із заданої точки простору зону радіозв'язку з врахуванням рельєфу місцевості для різних засобів зв'язку і значень їх ТТХ, побудувати трасу радіорелейного зв'язку між двома точками з врахуванням рельєфу місцевості, оцінювати доступність опорної мережі зв'язку в заданому районі для прив'язки польових вузлів зв'язку.

Таблиця ТТХ є формою, що поповнюється, тобто можливе додавання нових засобів УКХ зв'язку в дану таблицю з автоматичним додаванням цих засобів в усі меню “Тип радіостанції” даного розрахункового модуля.

Розроблена розрахункова задача для оцінки доступності опорної мережі зв'язку за показником ймовірності доступу до опорної мережі зв'язку з будь-якої точки району бойових дій [9]

$$P_d = P_S P_{пр}; \quad (3)$$

$$P_S = \frac{S_{\Sigma}}{S_0}; \quad (4)$$

$$P_{пр} = \frac{N_{пр}}{N_{\Sigma}}, \quad (5)$$

де  $P_S$  – ймовірність попадання випадково розташованих у обраному районі польових вузлів зв'язку в узагальнену зону зв'язку;  $S_{\Sigma}$  – сумарна площа

зв'язку опорних вузлів зв'язку;  $S_0$  – площа обраного району;  $N_{\Sigma}$  – загальна кількість вузлів опорної мережі зв'язку;  $N_{пр}$  – кількість вузлів опорної мережі, здатних забезпечити прив'язку.

Ймовірність попадання польових вузлів зв'язку в зону зв'язку ( $P_S$ ) не залежить від можливостей опорних вузлів зв'язку здійснити прив'язку ( $P_{пр}$ ).

Градація доступності опорної мережі зв'язку встановлена так:

недоступна ( $P_d = 0 \div 0,2$ );

малодоступна ( $P_d = 0,21 \div 0,6$ );

середньодоступна ( $P_d = 0,61 \div 0,8$ );

повнодоступна ( $P_d = 0,81 \div 1$ ) [9].

До комплексу моделей додана модель оцінки району операції (бойових дій) у відношенні зв'язку, яка базується на процедурах попередньої розрахункової задачі. Зазначена оцінка може бути проведена перед початком моделювання бойових дій угруповання ППО.

Після переходу у вікно “Оцінка району операції у відношенні зв'язку” і визначення району бойових дій в залежності від обраного режиму управління угрупованням в ході моделювання буде здійснено у режимі:

– управління бойовими діями в ситуації, коли відсутня взаємодія між вогневими підрозділами ППО сусідніх бригад (полків) (опція “Взаємодія відсутня”) – побудовані зони зв'язку із точок стояння всіх пунктів управління угруповання ППО перевірене попадання в дані зони зв'язку відповідних підрозділів ППО (рис. 7);

– управління бойовими діями в ситуації, коли взаємодія між вогневими підрозділами ППО сусідніх бригад (полків) організована відповідно до попередньо відданих розпоряджень (опція “Взаємодія на рівні розпоряджень”) – побудовані зони зв'язку із точок стояння опорно-комутаційних вузлів зв'язку (введених попередньо до бази даних вузлів зв'язку, рис. 6) і перевірене попадання в дані зони зв'язку всіх пунктів управління угруповання ППО. При цьому як станції прив'язки на опорно-комутаційних вузлах зв'язку прийняті станції, що занесені в базу даних для кожного опорно-комутаційного вузла (рис. 6);

– автоматизованого управління бойовими діями вогневих підрозділів ППО всіх бригад (полків) із єдиного центру (опція “Взаємодія в єдиному інформаційному просторі”) – побудовані зони зв'язку із точок стояння опорно-комутаційних вузлів зв'язку і перевірене попадання в дані зони зв'язку всіх елементів бойового порядку угруповання ППО (єдиний КП, *зрдн, зрбатр, орлр, рлв*).

Після закінчення оцінювання району операції у відношенні зв'язку (результати представляються на відповідних транспарантах, рис. 7) здійснюється перехід до моделювання бойових дій.



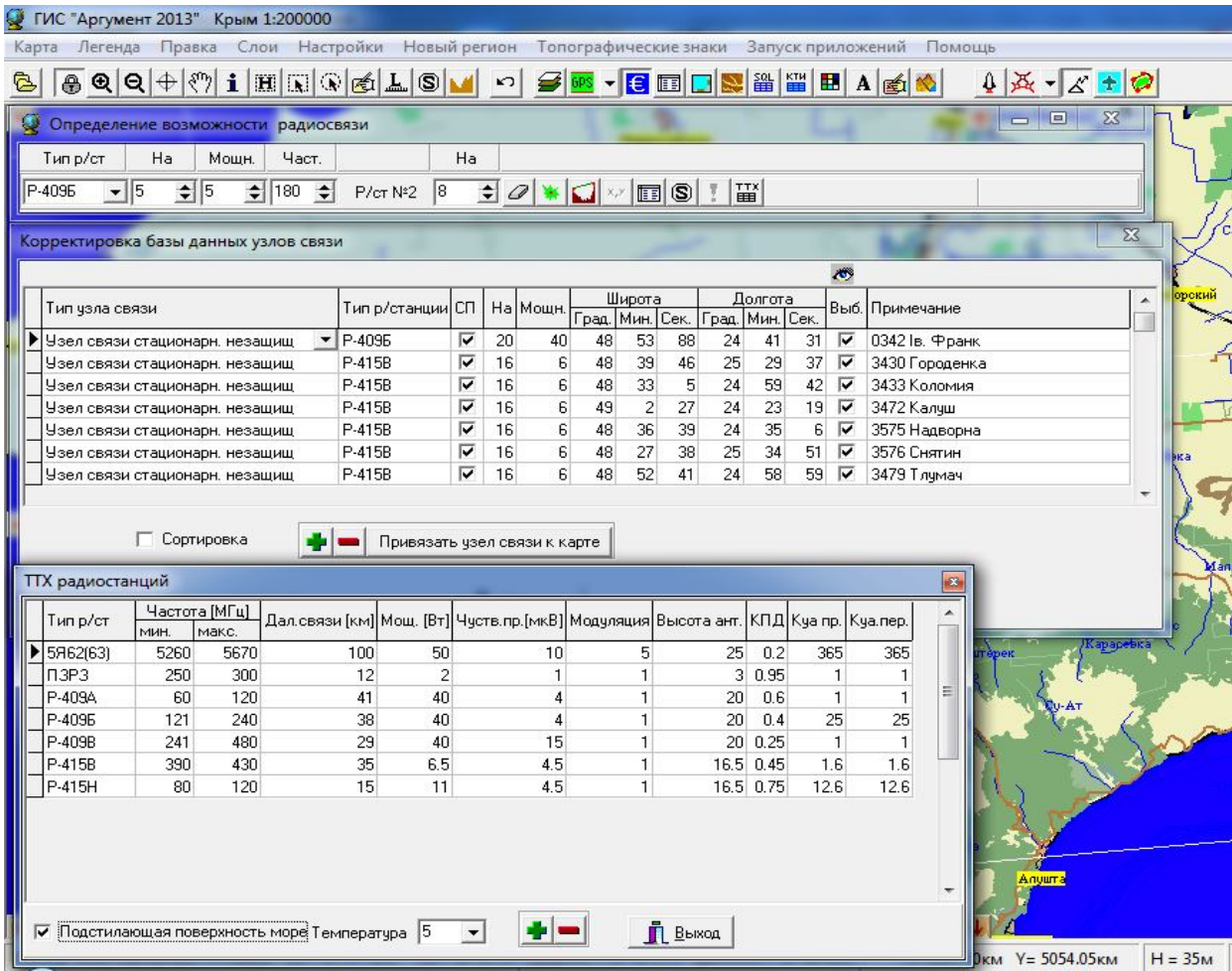


Рис. 6. Закладки розрахункової задачі «Визначення можливостей радіозв'язку»

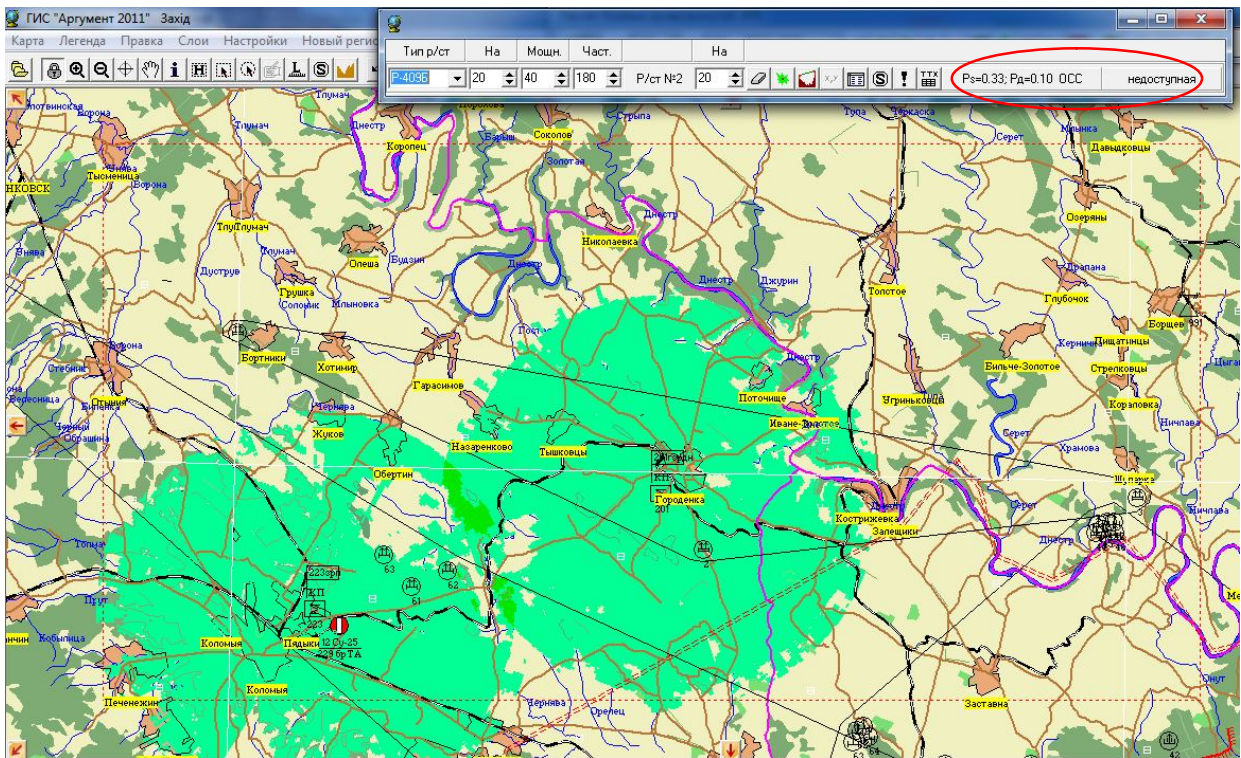


Рис. 7. Результат оцінки району операції у відношенні зв'язку в режимі "Взаємодія відсутня"

При цьому, при моделюванні з обраною опцією “Взаємодія відсутня” підрозділи, які не попали в зону зв'язку своїх пунктів управління, переводяться в режим самостійних бойових дій (збільшується робітний час). Після закінчення моделювання в підсумкових файлах звіту елементи, що не попали у відповідні зони зв'язку в таблицях, помічаються відповідним символом. Більш докладно окремі з зазначених удосконалень викладені в [9].

Геоінформаційна система “Аргумент-2011” відповідним чином оформлена та представлена у Фонді алгоритмів і програм ХУПС [8]. Комплекс алгоритмів і програм, реалізованих на базі зазначеної ГІС, був апробований в ході дослідної експлуатації у Повітряних Силах ЗС України, про що отриманий відповідний акт про реалізацію.

## Висновки

Отже, проведено удосконалення комплексу математичних моделей, реалізованих на основі ГІС “Аргумент-2011”, значно розширило специфічні можливості даної ГІС при її використанні в системі підтримки прийняття рішення командирів частин і підрозділів ППО.

Як напрямки подальшого вдосконалення моделей сплановані роботи: щодо розширення номенклатури моделей ЗРК і РЛС (з врахуванням перспективних комплексів та станцій); зі створення моделей для оцінювання району операції у відношенні РЕБ і розвідки; щодо удосконалення моделі процесу забезпечення радіолокаційною інформацією вогневих підрозділів ППО.

## Список літератури

1. Венцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.С. Венцель. – М.: Советское радио, 1964. – 388 с.

2. Загальні принципи організації та функціонування геоінформаційних систем і особливості їх застосування у військовій сфері: монографія / М.О. Попов, С.А. Станкевич, О.М. Кондратов та ін. – К.: Військова частина А1906, 2012. – 87 с.

3. Макаров А.Ф. Моделювання бойових дій змішаних угруповань ЗРВ і Військ ППО СВ у геоінформаційній системі “Аргумент-2011” / А.Ф. Макаров, А.М. Савельєв, С.П. Ярош // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 2 (28). – С. 15-21.

4. Присяжнюк С.П. Геоинформационные системы военного назначения / С.П. Присяжнюк, В.Н. Филатов, С.П. Федоренков. – СПб.: БГТУ, 2009. – 208 с.

5. Попов М.О. Геопросторова розвідка в операціях збройних сил / М.О. Попов // Наука і оборона. – 2010. – №2. – С. 30-39.

6. Тимчасовий стандарт умовних знаків (другий стандарт) для графічного оформлення оперативних (бойових) документів у Збройних Силах України. Введений в дію наказом начальника Генерального штабу ЗС України від 19.08.2013 № 180.

7. Ягольников С.В. Имитационное моделирование ВКО – искусство и наука / С.В. Ягольников, А.А. Смирнов // Воздушно-космическая оборона. – М.: ВПК-Медиа, 2013. – Вип. 4 (71). – С. 40-52.

8. Ярош С.П. Геоінформаційна система “Аргумент-2011”. Програмний продукт на оптичному носії / С.П. Ярош, А.Ф. Макаров, А.М. Савельєв. – Х.: ХУПС, Фонд алгоритмів і програм, 2012. – Реєстраційний номер 201203.

9. Ярош С.П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: моногр. / С.П. Ярош; за ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с. – ISBN 978-966-468-066-7.

Надійшла до редколегії 10.04.2014

Рецензент: д-р військ. наук, проф. І.О. Кириченко, Академія внутрішніх військ МВС України, Харків

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ “АРГУМЕНТ-2011”

С.П. Ярош, А.Ф. Макаров, А.Н. Савельєв, В.А. Калиниченко

В статье раскрывается содержание проведенных усовершенствований комплекса специфических математических моделей, реализованных на основе геоинформационной системы “Аргумент-2011”, который используется для поддержки принятия решений командиров частей (подразделений) ПВО, освещаются направления дальнейшего развития системы.

**Ключевые слова:** модель, геоинформационная система, подразделение, часть, боевые действия, противовоздушная оборона.

## IMPROVEMENT OF THE COMPLEX OF MATHEMATICAL MODELS, REALIZED ON THE BASIS OF GEOINFORMATION SYSTEM “ARGUMENT-2011”

S.P. Yarosh, A.F. Makarov, A.N. Savelyev, V.A. Kalinichenko

In article the maintenance of the spent improvements of a complex of the specific mathematical models realised on the basis of geoinformation system “Argument-2011”, which is used for support of adoption of a decision of commanders of units (battalions) of antiaircraft defence, directions of the further development of system are covered.

**Keywords:** model, geoinformation system, battalion, unit, battle, antiaircraft defence.