

МЕТОДИКА ЕФЕКТИВНОГО РОЗМІЩЕННЯ РІЗНОТИПНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Рачок Р. В. – д-р техн. наук, доцент, начальник кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін, Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна.

Боровик О. В. – д-р техн. наук, професор, начальник навчального відділу, Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна.

Боровик Л. В. – канд. психол. наук, доцент, доцент кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін, Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна.

АНОТАЦІЯ

Актуальність. Важливою передумовою надійної охорони державного кордону України є ефективне виявлення порушників кордону. З цією метою у прикордонному відомстві використовуються різні сучасні системи та комплекси спостереження, окремі прикордонні наряди оснащуються новітніми технічними засобами охорони кордону. Різноманітність можливостей окремих засобів спостереження при їх комплексному використанні робить важливим визначення ефективного розміщення точок спостереження з урахуванням особливостей місцевості.

Мета. Метою роботи є розробка методики ефективного розміщення елементів складних систем спостереження прикордонного відомства.

Метод. У роботі запропонований евристичний підхід до вирішення задачі визначення ефективного розміщення різних за можливостями технічних засобів спостереження. Розроблена методика ґрунтується на циклічному використанні відомого методу комбінаторної оптимізації розміщення точок спостереження для всіх складових складної системи спостереження прикордонного відомства з коригуванням після кожної ітерації смуги перекриття. При цьому з застосуванням геообробки враховується загороджуючий негативний вплив рельєфу місцевості та можливості різних технічних засобів спостереження в різних умовах. Для оцінки ефективності функціонування складових системи спостереження використовується показник, що відображає частку площі смуги перекриття, на якій забезпечується виявлення цілей.

Результати. В результаті використання запропонованої методики отримується раціональна структурна побудова складної системи спостереження органу охорони кордону і множина неконтрольованих точок місцевості. Ця множина може використовуватись при плануванні несення служби підрозділами охорони кордону. Наведений опис алгоритмічної і програмної реалізації запропонованої методики. З використанням розробленого програмного забезпечення проведена оптимізація розміщення трьох типів елементів складної системи спостереження (веж системи оптико-електронного спостереження, мобільних тепловізійних комплексів, постів спостереження).

Висновки. Сучасна побудова складних систем спостереження прикордонного відомства у багатьох випадках не є оптимальною. Для підвищення ефективності їх функціонування можливо використати запропоновану методику розстановки елементів цих систем на місцевості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: система спостереження, показник ефективності системи спостереження, математичні методи, алгоритм.

АБРЕВІАТУРИ

ВПС – відділ прикордонної служби;
ДПСУ – Державна прикордонна служба України;
МТК – мобільний тепловізійний комплекс;
ОСД – оперативно-службова діяльність;
ПТК – програмно-технічний комплекс;
РЛС – радіолокаційна станція;
СОЕС – система оптико-електронного спостереження;
ТЗС – технічні засоби спостереження;
ІТС – інформаційно-телекомунікаційна система.

НОМЕНКЛАТУРА

S_m – множина точок смуги перекриття;
 nsm – потужність множини точок смуги перекриття;
 k – кількість груп засобів спостереження різних видів;
 n_i – кількість засобів спостереження i -ї групи;
 p_{ij} – точка розміщення j -го засобу спостереження з i -ї групи;

P – множина всіх точок спостереження;
 P_0 – множина точок, доступних для встановлення засобів спостереження;
 ξ_1 – умови спостереження;
 ξ_2 – характеристики розподілів ймовірності виявлення цілі засобами спостереження різних типів;
 R_l – дані рельєфу місцевості;
 $E(P, S_m, R_l, \xi_1, \xi_2)$ – ефективність спостереження;
 $pv_i(p_{ij}, S_m, R_l, \xi_1, \xi_2, x, y)$ – ймовірність виявлення цілі на ділянці з центром в точці з координатами (x, y) засобом спостереження i -го типу, який знаходиться в точці p_{ij} .

ВСТУП

Охорона державного кордону України є важливою передумовою забезпечення національної безпеки держави. З урахуванням сучасних ризиків і загроз у прикордонній сфері надзвичайно важливим є ефективне виявлення порушників прикордонного законодавства. Вирішення цього завдання в сучасних умовах потребує використання новітніх технічних засобів

спостереження. У зв'язку з цим, при охороні кордону використовуються системи оптико-електронного спостереження, мобільні тепловізійні комплекси, портативні тепловізори, прилади нічного бачення та широка номенклатура оптичних пристроїв спостереження. Однак, комплексне використання цих засобів не завжди є ефективним. Це пояснюється тим, що планування їх застосування здійснюється людиною, яка не завжди спроможна оцінити всю сукупність факторів, що впливають на результуючу ефективність виявлення потенційних порушників прикордонного законодавства. Використання інформаційно-телекомунікаційних систем прикордонного відомства, зокрема, ІТС прикордонної служби «Гарт-3», допомагає здійснювати облік планування несення служби у ВПС. Проте елементи систем підтримки прийняття рішень щодо ефективного розміщення різних складових системи спостереження у даній ІТС не реалізовані. Причиною цього є відсутність науково-методичного апарату, який може стати основою для розробки відповідного програмно-алгоритмічного забезпечення.

Об'єктом дослідження є функціонування складної системи спостереження, що містить різнотипні елементи.

Предметом дослідження є науково-методичний апарат ефективного розміщення на місцевості різнотипних елементів складної системи спостереження.

Метою роботи є розробка методики ефективного розміщення елементів складної системи спостереження прикордонного відомства, що містить набори різних за технічними можливостями складових.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для структурної оптимізації використання складної системи спостереження в охороні кордону необхідно визначити таке розташування точок розміщення її елементів, при якому досягається максимальне значення показника ефективності її функціонування (рис. 1).

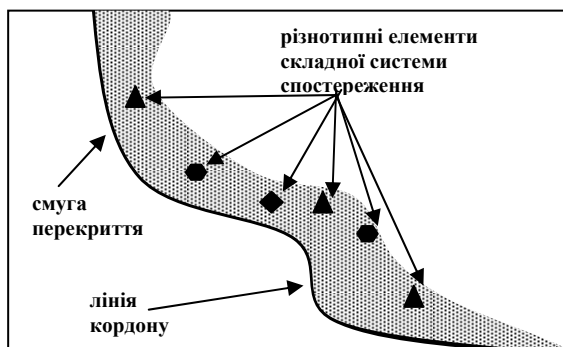


Рисунок 1 – Схематична інтерпретація постановки задачі оптимізації розміщення елементів складної системи спостереження

При цьому окремі групи таких елементів характеризуються різними можливостями. При вирішенні даної задачі необхідно врахувати вплив на ефектив-

ність спостереження наступних факторів: складність форми смуги перекриття S_m вздовж кордону, в межах якої необхідно забезпечити виявлення цілей; перешкоджаючий для спостереження вплив рельєфу місцевості; залежність ймовірності виявлення цілі певним технічним засобом від відстані до цілі, його характеристик і умов, в яких здійснюється спостереження. Необхідність урахування перешкоджаючого впливу рельєфу суттєво ускладнює вирішення оптимізаційної задачі і обумовлює пошук підходів до її спрощення.

Задачу визначення точок оптимального розміщення елементів складної системи спостереження прикордонного відомства можна формалізувати і подати у вигляді задачі визначення множини координат таких точок множини P , які забезпечують максимізацію $E(P, S_m, R_b, \xi_1, \xi_2)$ при фіксованих S_m, R_b, ξ_1, ξ_2 :

$$E(P, S_m, R_b, \xi_1, \xi_2) \rightarrow \max_{P_{ij} \in P_0} \quad (1)$$

При цьому всі точки спостереження p_{ij} мають знаходитись у місцях, доступних для розташування засобів спостереження, тобто має виконуватись умова $p_{ij} \in P_0$.

Складність вирішення цієї оптимізаційної задачі обумовлюється нефункціональністю показника ефективності $E(P, S_m, R_b, \xi_1, \xi_2)$, пошук якого потребує проведення моделювання з застосуванням обчислювальних методів і геообробки.

2 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Оптимізація побудови систем спостереження прикордонного відомства досліджувалась у багатьох працях. Оскільки основою такої оптимізації є визначення показника ефективності функціонування цих систем щодо виявлення порушника кордону, значна кількість досліджень була спрямована на вирішення завдання його визначення [1–4]. При цьому в роботах [3, 4] значна увага приділена урахуванню перешкоджаючого спостереженню шкідливого впливу рельєфу місцевості. Проведення раціональної розстановки елементів систем спостереження без урахування рельєфу розглядались, зокрема, в дослідженнях [5–6].

У роботі [7] проведена оцінка ефективності функціонування окремих веж системи оптико-електронного спостереження прикордонного відомства. При цьому було використано ймовірнісний підхід, який ґрунтувався на статистичному дослідженні і описі функціонування різних технічних засобів, що встановлені на вежі. У показнику ефективності врахований перешкоджаючий для спостереження вплив рельєфу місцевості, що обумовило потребу використання методів геообробки даних. Слід відмітити, що запропонована в [7] методика може бути з легкістю поширена для оцінки ефективності і інших комплексів або окремих засобів ДПСУ, зокрема, мобільних тепловізійних комплексів. Оцінка ефективності виявлення порушників існуючою СОЕС ДПСУ показала

наявність можливостей щодо її суттєвого покращення за рахунок вибору кращого варіанту розміщення окремих веж [7].

Слід також відмітити, що необхідність урахування перешкоджаючого спостереженню впливу рельєфу місцевості, потребує вдосконалення методів геообробки щодо визначення областей видимості. Значна увага цим питанням, зокрема, приділена в дослідженнях [8, 9]. У [8] розглядається питання підвищення швидкодії розрахунку областей видимості з використанням паралельної обробки інформації на сучасних графічних процесорах. У дослідженні [9] проводиться удосконалення алгоритму визначення видимості за умови великої кількості спостерегачів.

Можливість подальшого вдосконалення структурної побудови СОЕС обумовила проведення досліджень щодо адаптації методів комбінаторної оптимізації для вирішення цього завдання. Безпосереднє використання методу повного перебору має надзвичайно високу обчислювальну складність. Описані в [10–11] підходи до спрощення геообробки при визначенні областей видимості дозволили реалізувати застосування повного перебору для пошуку оптимального розташування однотипних точок спостереження [11]. Однак різноманітність сучасних технічних засобів охорони кордону вимагає вирішення більш складного завдання, яке полягає в оптимальній їх розстановці.

Враховуючи це, метою даної роботи є розробка методики оптимізації розміщення різнотипних елементів складної системи спостереження.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У [10] визначений метод оптимізації розміщення однотипних елементів системи спостереження і розглянуто його застосування для структурного вдосконалення СОЕС. Слід відмітити, що всі елементи цієї системи – вежі спостереження, мають однакові характеристики. Відомий метод ґрунтується на повному переборі всіх можливих розв'язків (варіантів розташувань точок спостереження) з обчисленням показника ефективності функціонування системи спостереження і за критерієм його максимальності вибору оптимального розв'язку (рис. 2).

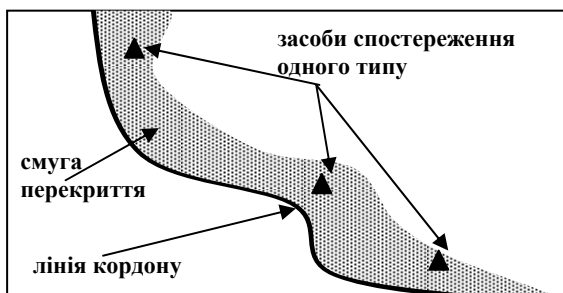


Рисунок 2 – Оптимізація розміщення однотипних засобів спостереження

Смуга перекриття розглядається як множина точок $S_m = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{nsm-1}, y_{nsm-1})\}$. Ефективність спостереження [10] визначається як частка смуги пе-

рекриття, на якій забезпечується ефективне виявлення цілей. Відповідно до цього, для складної системи спостереження цей показник матиме вигляд

$$E(P, S_m, R_l, \xi_1, \xi_2) = \frac{\sum_{(x_r, y_r) \in S_m, r=0, nsm-1} (1 - \prod_{i,j} (1 - p_{ij}(p_{ij}, S_m, R_l, \xi_1, \xi_2, x_r, y_r)))}{nsm}$$

Оскільки показник ефективності враховує негативний для спостереження вплив рельєфу місцевості, значна увага в [10] приділена питанням спрощення геообробки. Таке спрощення, поряд з урахуванням системи додаткових обмежень, які суттєво зменшують потужність множини можливих розташувань точок спостереження, в межах якої проводиться повний перебір, дозволило провести вирішення оптимізаційної задачі для невеликого числа однотипних точок спостереження [10]. Однак в реальній системі охорони державного кордону, звичайно, можуть використовуватись ТЗС з різними можливостями. Все це обумовлює потребу відшукування підходів до вирішення більш складного оптимізаційного завдання, описаного у першій частині даного дослідження. Для його вирішення можлива адаптація методу, описаного в [10]. Однак суттєве зростання кількості точок спостереження, потреба урахування відмінності в ефективності застосування різних за можливостями ТЗС і потреба в розрахунку областей видимості для ТЗС на різних висотах обумовлює значне збільшення обчислювальної складності повного перебору. Для її зменшення з метою можливості оперативного планування застосування засобів спостереження з використанням доступних засобів обчислювальної техніки пропонується розділити оптимізаційне завдання на окремі етапи. На кожному з цих етапів пропонується проводити оптимізацію розміщення однотипних засобів спостереження з використанням відомого методу [10], який ґрунтується на повному переборі всіх можливих варіантів з урахуванням обмежень і виборі розстановки, яка забезпечує максимальну ефективність.

Після оптимізації розміщення засобів спостереження певного типу, пропонується проводити коригування множини смуги перекриття з виключенням з неї ділянок, на яких було забезпечено ефективне спостереження. Проведення такого коригування дозволяє розглядати задачу оптимізації розстановки засобів спостереження певного типу як окрему задачу, з метою забезпечення ефективного спостереження за ще не прикритими ділянками смуги перекриття. Планування розміщення засобів спостереження різних типів пропонується розпочати з тих, які забезпечують максимальні за дальністю характеристики виявлення цілей і продовжувати в послідовності їх зменшення.

Наприклад, основною системою спостереження, яка характеризується кращими можливостями (висота веж, ТТХ ТЗС), може бути СОЕС. Додатково до цієї

основної системи для прикриття окремих ділянок, які потрапляють до недоступних для спостереження зон, можуть використовуватись мобільні тепловізійні комплекси. Тактико-технічні характеристики ТЗС цих комплексів є дещо гіршими за аналоги СОЕС. Окрім того, в МТК відсутня РЛС. Нарешті, для точкового прикриття окремих ділянок місцевості, з неефективним виявленням цілей двома попередніми системами, можуть використовуватись прикордонні наряди – пости спостереження.

З метою реалізації описаної вище побудови складних систем спостереження і проведення при цьому оптимізації в межах однорідних підсистем, пропонується наступна евристична **методика** (рис. 3):

1. Проводиться сортування однорідних підсистем спостереження, які містять однотипні ТЗС, в порядку зменшення (погіршення) технічних характеристик ТЗС, що в них використовуються. Обирається перша однорідна система спостереження, яка характеризується кращими технічними характеристиками;

2. Для обраної системи спостереження, з використанням методу оптимального розміщення точок спостереження [10], визначається оптимальне положення всіх точок спостереження;

3. Для кожної точки поточної смуги перекриття S_p визначається ймовірність виявлення цілі. Якщо ця ймовірність вища за певний, визначений завчасно граничний рівень, ця точка виключається з множини S_p ;

4. Якщо перелік доступних підсистем не вичерпаний, обирається наступна за технічними характеристиками підсистема і здійснюється перехід до кроку 2. В протилежному випадку оптимізація завершується.

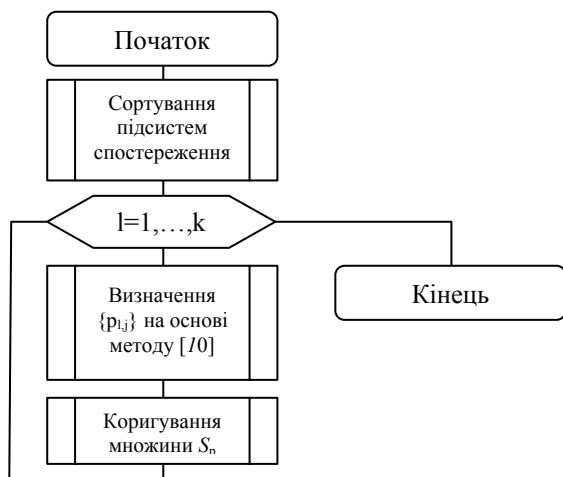


Рисунок 3 – Методика ефективного розміщення елементів складної системи спостереження прикордонного відомства

Відповідно до цієї методики, в першу чергу проводиться оптимальна розстановка точок спостереження кращої системи (наприклад СОЕС). Після її проведення, окремі ділянки, внаслідок перешкоджаючого впливу рельєфу або недостатньої кількості наявних веж СОЕС, залишаються погано «прикритими». Після

кроку 3 наведеної вище методики у смузі перекриття залишаються лише ділянки з недостатньою ймовірністю виявлення цілей. І для наступної однорідної підсистеми спостереження в ході оптимізації розстановка точок спостереження буде проводитись лише для прикриття цих «прогалів». Цей процес буде повторюватись до вичерпання всіх наявних однорідних підсистем.

У результаті використання запропонованої методики множина S_p буде відображати ділянки кордону, контроль за якими з використанням технічних засобів спостереження не забезпечується. Ці ділянки потрібно враховувати для ефективного планування і організації несення служби (розміщення додаткових технічних засобів охорони кордону, наприклад, сигналізаційних комплексів, планування відповідних маршрутів для прикордонних нарядів тощо).

Розрахунок і візуалізацію результуючої множини областей з неефективним спостереженням поряд зі смугою перекриття доцільно реалізувати в межах спеціального програмного забезпечення програмно-технічного комплексу «Гарт-3/П», з використанням якого проводиться планування ОСД у відділах прикордонної служби.

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Розглянемо приклад використання запропонованої методики для оптимізації розстановки ТЗС на ділянці відповідальності Подільського і Білгород-Дністровського прикордонних загонів. У якості засобів спостереження розглядаються вежі СОЕС, МТК і прикордонні наряди «пост спостереження». На даний час на цій ділянці використовується СОЕС, яка включає 10 веж спостереження. Внаслідок недосконалого їх розміщення показник ефективності прикриття площі необхідної смуги перекриття по малих цілях є меншим за 50%. Розглянемо оптимізацію розстановки лише 2-х веж СОЕС, 3-х МТК (можливості яких є значно слабшими у порівнянні з ТЗС веж СОЕС), 3-х прикордонних нарядів «пост спостереження» (які по дальності виявлення цілей поступаються МТК) і проведемо оцінку результуючої ефективності.

На першому етапі проведемо сортування підсистем спостереження у порядку зменшення (погіршення) їх можливостей: вежі СОЕС, МТК, «пост спостереження». Смуга перекриття, яку потрібно прикрити ТЗС, зображена на рис. 4.



Рисунок 4 – Смуга перекриття, яку потрібно прикрити ТЗС

Відповідно до запропонованої методики, в першу чергу оптимізуємо розстановку веж СОЕС з використанням методу комбінаторної оптимізації [10]. Ре-

зультати вирішення оптимізаційного завдання на цьому етапі відображені на рис. 5.

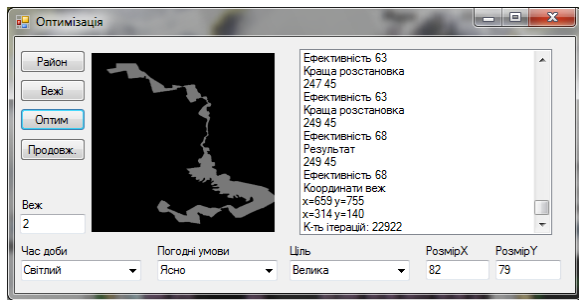


Рисунок 5 – Результати оптимізації розстановки 2-х веж СОЕС

При отриманій розстановці 2-х веж СОЕС забезпечене прикриття необхідної смуги перекриття на понад 68% (рис. 6–7).

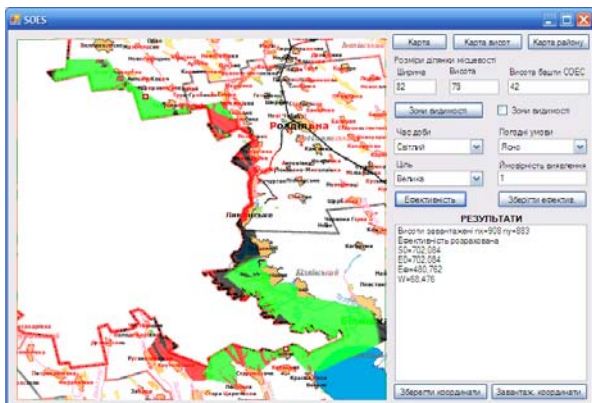


Рисунок 6 – Оцінка ефективності розміщення веж СОЕС



Рисунок 7 – Залишок смуги перекриття, що не прикритий ефективним спостереженням з веж СОЕС

Однак, частина смуги перекриття залишилась без ефективного спостереження (рис. 7). Наявність неприкритих ділянок пояснюється обмеженням дальності виявлення цілей з веж СОЕС та негативним перешкоджаючим спостереженню впливом рельєфу місцевості. З метою їх зменшення на наступному етапі проведемо оптимізацію розміщення 3-х МТК. Оцінка

ефективності результатів вирішення цього завдання відображена на рис. 8–9.

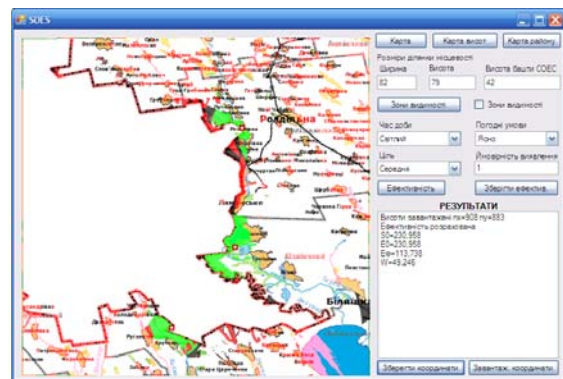


Рисунок 8 – Оцінка ефективності розміщення МТК



Рисунок 9 – Залишок смуги перекриття, що не прикритий ефективним спостереженням з веж СОЕС і МТК

Як випливає з рис. 8, оптимальне розміщення 3-х МТК дозволило зменшити частку смуги перекриття, на якій не забезпечується ефективне спостереження. Однак, як випливає з рис. 9, окремі ділянки кордону залишились неприкритими ТЗС. З метою подальшого вдосконалення складної системи спостереження оптимізуємо контроль за цими неприкритими ділянками, розмістивши 3 прикордонні наряди «пост спостереження». Результати оптимізації їх розстановки наведені на рис. 10–11.

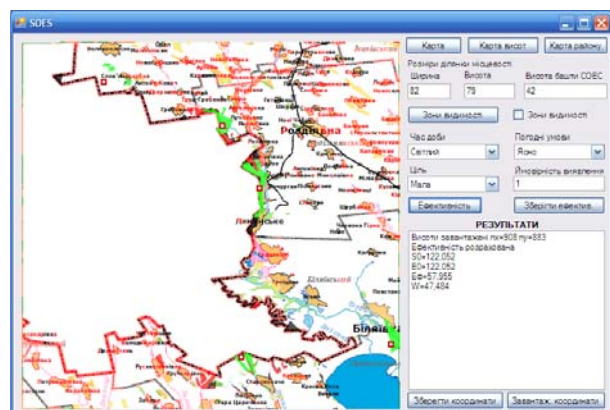


Рисунок 10 – Оцінка ефективності розміщення прикордонних нарядів



Рисунок 11 – Залишок смуги перекриття, що не прикритий ефективним спостереженням всіма ТЗС

5 РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті використання запропонованої методики для оптимізації розміщення елементів складної системи спостереження, що містить 2 вежі СОЕС, 3 МТК і 3 прикордонні наряди «пост спостереження» було реалізоване ефективне прикриття значної частки необхідної смуги перекриття (рис. 12).

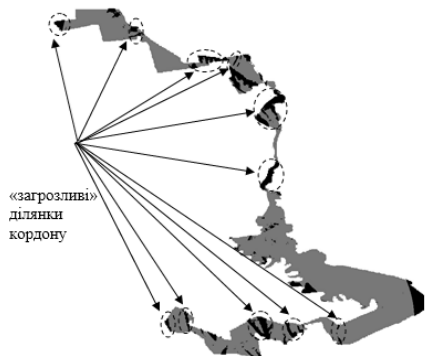


Рисунок 12 – Прикриття необхідної смуги перекриття S_m (неприкриті ділянки відмічені чорним кольором)

З аналізу отриманих результатів випливає, що за рахунок оптимізації вибору точок спостереження було отримане ефективне спостереження за майже 81% площі необхідної смуги перекриття. При цьому було використано лише 2 вежі СОЕС і 6 засобів зі значно гіршими характеристиками. Однак, незважаючи на такі непогані результати щодо частки загальної площі покриття ефективним спостереженням, як видно з рисунку 8, на окремих ділянках кордону існують «коридори», пересуваючись якими, порушники кордону можуть перетнути кордон непоміченими створеною системою спостереження. Реалізація наведеної у даному дослідженні методики у спеціальному програмному забезпеченні ПТК «Гарт-3/П», дасть можливість не лише оптимізувати розміщення ТЗС, але і автоматизувати процедуру отримання схеми прикриття необхідної смуги перекриття (рис. 12) для кожного ВПС. З урахуванням даної схеми, особа, яка приймає рішення, може прийняти обґрунтовані рішення щодо додаткового розміщення сигналізаційних засобів,

планування розміщення та маршрутів руху прикордонних нарядів тощо. Вбачається, що така інформація дозволить суттєво збільшити ефективність планування ОСД на ділянці відповідальності ВПС.

6 ОБГОВОРЕННЯ

Запропонована у даному дослідженні методика дозволяє знайти раціональну розстановку різнотипних засобів спостереження, при якій досягається висока загальна площинна ефективність спостереження. Однак, оскільки з метою зменшення обчислювальної складності в її межах розглядаються не всі можливі варіанти розстановки, не можна стверджувати про оптимальність отриманого результату. Слід відмітити, що обрана послідовність проведення розміщення засобів спостереження різних типів, сприяє підвищенню раціональності їх результуючої розстановки. Першочергове розміщення засобів спостереження з більшою ефективною дальністю виявлення цілей з подальшим прикриттям тих ділянок, що залишилися без ефективного спостереження дозволить підвищити загальну площинну ефективність спостереження. Однак, потребує окремих досліджень також і питання оцінки результуючої ефективності з точки зору не загальної площі прикриття, а наявності можливостей перетину кордону без контролю системою спостереження.

Слід відмітити, що у даному дослідженні розглядається розміщення стаціонарних нерухомих ТЗС. Однак останнім часом перспективним є визначення ефективного застосування рухомих ТЗС, які можуть входити до складу сучасних складних систем спостереження [12].

ВИСНОВКИ

Таким чином, у роботі поставлена задача оптимізації розміщення елементів складних систем спостереження прикордонного відомства та запропоновано одну з можливих методик її вирішення. В результаті використання запропонованої методики визначається не лише ефективна розстановка окремих точок спостереження, але і результуюче прикриття необхідної смуги перекриття. З урахуванням результатів аналізу такого прикриття можуть прийматись більш ефективні рішення щодо організації ОСД на ділянці відповідальності ВПС Державної прикордонної служби України.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в обґрунтуванні методики формування комбінаторних наборів різнотипних елементів, які характеризуються неоднаковими ефективнісними параметрами, та в сукупності забезпечують максимізацію значення інтегрального показника ефективності з урахуванням його нелінійної залежності не лише від впливу елементів комбінаторної множини, а і їх розміщення.

Практичне значення отриманих результатів полягає в забезпеченні можливості використання інформаційно-телекомунікаційних систем прикордонного відомства, зокрема, ІТС прикордонної служби «Гарт-3» не лише для обліку планування несення служби у ВПС, а і для ефективного розміщення різних складових системи спостереження.

Перспективи (напрямки) подальших досліджень полягають у дослідженні складності запропонованого алгоритму та його ефективності на різних наборах вхідних даних.

ПОДЯКИ

Роботу виконано в рамках спільних наукових досліджень кафедри інженерного забезпечення та технічних засобів охорони кордону і кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії Державної прикордонної служби України.

ЛИТЕРАТУРА / LITERATURA

1. Горбунов В. А. Эффективность обнаружения целей / В. А. Горбунов. – Москва : Воениздат, 1979. – 160 с.
2. Кривошеев В. А. Эффективность охраны государственной границы СССР и основные направления ее повышения / В. А. Кривошеев. – М. : Воениздат, 1988. – 256 с.
3. Smugglers and border guards – The GeoStar Project at RPI / [W. Franklin, M. Inanc, Z. Xie et al.]. // ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems : 15th international symposium, Seattle, 7–9 November 2007 : proceedings. ACM New York, 2007. – P. 228–236.
4. Multiple observer siting and path planning on a compressed terrain / [M. Tracy, W. Franklin, B. Cutler et al.] // Advanced Signal Processing Algorithms, Architectures, and Implementations : 17th international conference, San Diego, 26–27 August 2007: proceedings. – Bellingham, 2007. – P. 6697–16.
5. Кочкарь Д. А. Оптимальное размещение вышек наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / Д. А. Кочкарь, С. Ю. Мединцев, А. А. Орехов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №7(48). – С. 311–314.

УДК 528.29

МЕТОДИКА ЭФФЕКТИВНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Рачок Р. В. – д-р техн. наук, доцент, начальник кафедры общенаучных и инженерных дисциплин, Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина.

Боровик О. В. – д-р техн. наук, профессор, начальник учебного отдела, Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина.

Боровик Л. В. – канд. психол. наук, доцент, доцент кафедры общенаучных и инженерных дисциплин, Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина.

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Важной предпосылкой надежной охраны государственной границы Украины является эффективное обнаружение нарушителей границы. С этой целью в пограничном ведомстве используются различные современные системы и комплексы наблюдения, отдельные пограничные наряды оснащаются новейшими техническими средствами охраны границы. Разнообразие возможностей отдельных средств наблюдения при их комплексном использовании делает важным определение эффективного размещения точек наблюдения с учетом особенностей местности.

Цель. Целью работы является разработка методики эффективного размещения элементов сложных систем наблюдения пограничного ведомства.

Метод. В работе предложен эвристический подход к решению задачи определения эффективного размещения различных по возможностям технических средств наблюдения. Разработанная методика основывается на циклическом использовании известного метода комбинаторной оптимизации размещения точек наблюдения для всех составляющих сложной системы слежения пограничного ведомства с корректировкой после каждой итерации полосы перекрытия. При этом с применением геообработки учитывается загромождающее негативное влияние рельефа местности и возможности различных технических средств наблюдения в различных условиях. Для оценки эффективности функционирования составляющих системы наблюдения используется показатель, отражающий долю площади полосы перекрытия, на которой обеспечивается обнаружение целей.

Результаты. В результате использования предложенной методики получается рациональное структурное построение сложной системы наблюдения органа охраны границы и множество неконтролируемых точек местности. Это множество может использоваться при планировании несения службы подразделениями охраны границы. Приведено описание алгоритмической и программной реализации предложенной методики. С использованием разработанного программного обеспечения проведена оптимизация размещения трех типов элементов сложной системы наблюдения (вышек системы оптико-электронного наблюдения, мобильных тепловизионных комплексов, постов наблюдения).

6. Комяк В. М. Постановка задачи оптимизации размещения пунктов наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / В. М. Комяк, В. К. Мунтян, А.Ю. Приходько // Проблемы пожарной безопасности : сб. научн. тр. – Вып 31. – Харьков : НУГЗУ, 2012. – С. 80–84.
7. Боровик О. В. Оцінка ефективності функціонування системи оптико-електронного спостереження / О. В. Боровик, Р. В. Рачок, М. М. Дармороз // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – № 2 (41). – С. 93–99. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-2-10.
8. A parallel computing approach to viewshed analysis of large terrain data using graphics processing units / [Y. Zhao, A. Padmanabhan, S. Wang] // International Journal of Geographical Information Science. – 2013. – Vol. 27. – P. 363–384.
9. Tabik S. Simultaneous computation of total viewshed on large high resolution grids / [S. Tabik, E. Zapata, L. Romero] // International Journal of Geographical Information Science. – 2013. – Vol. 27. – P. 804–814.
10. Рачок Р. В. Структурна оптимізація системи оптико-електронного спостереження / Р. В. Рачок, О. В. Боровик, Л. В. Боровик, // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – № 4 (43). – С. 151–161. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-4-17.
11. Defining approach to rational opto-electronic surveillance system towers placement / [I. Katerynychuk, O. Borovyk, R. Rachok, M. Darmoroz] // Advanced information and communication technologies : 2nd International Conf. (Lviv, 4–7 July 2017) / Polytechnic National University. – Lviv, 2017. – P. 242–245. DOI: 10.1109/aiact.2017.8020110.
12. Path optimization with limited sensing ability / [K. Sung, J. Seong, Z. Haomin et al.] // Journal of Computational Physics. – 2015. – Vol. 299. – P. 887–901. DOI: 10.1016/j.jcp.2015.07.037.

Received 16.11.2018.
Accepted 29.06.2019.

Выводы. Современное построение сложных систем наблюдения пограничного ведомства во многих случаях не является оптимальным. Для повышения эффективности их функционирования возможно использовать предложенную методику расстановки элементов этих систем на местности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система наблюдения, показатель эффективности системы наблюдения, математические методы, алгоритм.

UDC 528.29

THE METHOD OF EFFICIENT DISTRIBUTION OF DIFFERENT ELEMENTS OF A COMPLEX SYSTEM OF CONTROL

Rachok R. V. – Dr.Sc., Associate Professor, Chief of the Department of General Scientific and Engineering Disciplines, the National academy of State border guard service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine.

Borovyk O. V. – Dr.Sc., Professor, Chief of the Educational Department, the National Academy of State Border Guard Service of Ukraine Named After Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine.

Borovyk L. V. – PhD, Associate Professor, Department of General Scientific and Engineering Disciplines, the National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine.

ABSTRACT

Context. An important prerequisite for reliable protection of the state border of Ukraine is the effective detection of violators of the border. For this purpose, various state-of-the-art systems and observation complexes are used at the border agency, and some border dresses are equipped with the latest technical means of border guarding. The diversity of possibilities of individual means of observation in their complex use makes it important to determine the effective location of observation points, taking into account the features of the terrain.

Objective. The purpose of the work is to develop a method for effective placement of elements of complex surveillance systems of the border agency.

Method. The work proposes a heuristic approach to solving the problem of determining the effective placement of different capabilities of technical means of observation. The developed method is based on the cyclic use of the known method of combinatorial optimization of placement of observation points for all components of a complex surveillance system of the border agency with adjustment after each iteration of the overburden. At the same time, with the use of geo-processing takes into account the barrier to the negative impact of terrain and the possibility of different technical means of surveillance in different conditions. To assess the effectiveness of the functioning of the components of the surveillance system, an indicator is used reflecting the share of the area of the strip of overlap, which provides the identification of objectives.

Results. As a result of using the proposed methodology, a rational structural construction of a complex surveillance system of the border guard body and a set of uncontrolled points of the area are obtained. This plurality can be used in planning the service of the units of the border guard. The description of algorithmic and program realization of the proposed method is given. Using the developed software, the optimization of the placement of three types of elements of a complex observation system (towers of the system of optoelectronic observation, mobile thermal imaging complexes, observation posts) was carried out.

Conclusions. Modern construction of complex surveillance systems of the border agency in many cases is not optimal. To increase the efficiency of their operation, it is possible to use the proposed method of placement of elements of these systems on the ground.

KEYWORDS: observing system, indicator of the effectiveness of the observation system, mathematical methods, algorithm.

REFERENCES

1. Gorbunov V. A. *Jefferktivnost' obnaruzhenija celej*. Moscow, Voenizdat, 1979, 160 p.
2. Krivosheev V. A. *Jefferktivnost' ohrany gosudarstvennoj granicy SSSR i osnovnye napravlenija ee povyshenija*. Moscow, Voenizdat, 1988, 256 p.
3. Franklin W., Inanc M., Xie Z., Tracy M., Cutler B., Andrade M., Luk F. et al. Smugglers and border guards – The GeoStar Project at RPI, *ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems : 15th international symposium, Seattle, 7–9 November 2007, proceedings*. ACM New York, 2007, pp. 228–236.
4. Tracy M., Franklin W., Cutler B., Andrade M., Luk F., Inanc M., Xie Z. et al. Multiple observer siting and path planning on a compressed terrain, *Advanced Signal Processing Algorithms, Architectures, and Implementations 17th international conference*. San Diego, 26–27 August 2007, proceedings. Bellingham, 2007, pp. 6697–16.
5. Kochkar' D. A., Medincev S. Ju., Orehov A. A. Optimal'noe razmeshhenie vyshkek nabljudenija nazemnyh sistem video-monitoringa lesnyh pozharov, *Radioelektronni i komp'juterni sistemi*, 2010, №7(48), pp. 311–314.
6. Komjak V. M., Muntjan V. K., Prihod'ko A. Ju. Postanovka zadachi optimizacii razmeshhenija punktov nabljudenija nazemnyh sistem video-monitoringa lesnyh pozharov, *Problemy pozharnoj bezopasnosti, Sb.nauchn.tr.* Vyp 31, Har'kov, NUGZU, 2012, pp. 80–84.
7. Borovik O. V., Rachok R. V., Darmoroz M. M. Ocinka efekтивности funkcionuvannja sistemi optiko-elektronного sposterezhenija, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017, No. 2 (41), pp. 93–99. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-2-10.
8. Zhao Y., Padmanabhan A., Wang S. A parallel computing approach to viewshed analysis of large terrain data using graphics processing units, *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, Vol. 27, pp. 363–384.
9. Tabik S., Zapata E., Romero L. Simultaneous computation of total viewshed on large high resolution grids, *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, Vol. 27, pp. 804–814.
10. Rachok R. V., Borovik O. V., Borovik L. V. Strukturna optimizacija sistemi optiko-elektronного sposterezhenija, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017, No. 4 (43), pp. 151–161. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-4-17.
11. Katerynychuk I., Borovyk O., Rachok R., Darmoroz M. Defining approach to rational opto-electronic surveillance system towers placement, *Advanced information and communication technologies : 2nd International Conf. (Lviv, 4–7 July 2017), Polytechnic*. Lviv, National University, 2017, pp. 242–245. DOI: 10.1109/aiact.2017.8020110.
12. Sung K., Seong J., Haomin Z. et al. Path optimization with limited sensing ability, *Journal of Computational Physics*, 2015, Vol. 299, pp. 887–901. DOI: 10.1016/j.jcp.2015.07.037.