УДК 358.3:528

Михайло Віталійович Приймак
Сергій Валентинович Зотов
Віталій Володимирович Зуйко *(кандидат військових наук)*

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ТОПОГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

У статті розглянутий підхід до підвищення оперативності виконання заходів з топогеодезичного забезпечення шляхом прогнозування значень робочого набору топогеодезичних даних що дає можливість скоротити час необхідний для постановки завдань на застосування сил топографічної служби. Визначення значень параметрів робочого набору даних на інтервалі прогнозу здійснюється шляхом знаходження функції тренду за часовим лагом (глибині передісторії значень) за допомогою регресійного аналізу. Таким чином за допомогою функції тренду можлива екстраполяція значень робочого набору топогеодезичних даних на потрібний момент прогнозу, що у свою чергу дозволяє підвищити оперативність визначення кількості заходів з топогеодезичного забезпечення.

Ключові слова: *топогеодезичне забезпечення, прогнозування, регресійний аналіз, оперативність, робочий набір даних.*

Вступ

Підготовка і ведення операцій угруповань військ (сил) потребує ретельного всебічного забезпечення у тому числі і топогеодезичного забезпечення (ТГЗ) як складової оперативного забезпечення. Топогеодезичне забезпечення в операції угруповання військ (сил) організовується та здійснюється з метою підготовки і своєчасного доведення до органів управління, військових частин та підрозділів топогеодезичної інформації, яка необхідна для вивчення та оцінки місцевості під час прийняття рішень та планування операції, організації управління, взаємодії, ефективного застосування наявних систем озброєння та військової техніки, створення для відповідних підрозділів сприятливих у топогеодезичному відношенні умов під час підготовки та у ході ведення операції [1]. Однією з головних умов досягнення мети топогеодезичного забезпечення військ (сил) в операції є застосування сил та засобів топографічної служби відповідного рівня підпорядкування та самих військ (сил) за визначеними завданнями ТГЗ, а саме:

забезпечення органів управління і військ топографічними картами;

забезпечення органів управління і військ цифровими (електронними) картами;

забезпечення органів управління і військ вихідними геодезичними даними;

забезпечення органів управління і військ спеціальними картами і фотодокументами про місцевість та постійне ведення топографічної розвідки [2].

Усі заходи з топогеодезичного забезпечення військ здійснюється за складних та швидкоплинних умов зміни обстановки. Основна увага приділяється виконанню завдань ТГЗ в інтересах частин, які діють на головному напрямку. Також необхідно передбачити виконання заходів з топогеодезичного забезпечення в інтересах дій військових частин Національної гвардії України, МВС, СБУ, ДПС, щодо виконання покладених на них завдань в операції та організувати взаємодію з вищезазначеними частинами і підрозділами.

Топогеодезичне забезпечення організовується начальником штабу через начальника топографічної служби відповідного рівня на основі існуючих принципів ТГЗ повсякденної діяльності військ (сил) та з урахуванням специфіки завдань, що виконуються частинами, яким необхідна топогеодезична інформація .

Досвід проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей показав що необхідність скорочення термінів на виконання заходів з топогеодезичного забезпечення військ (сил), оновлення та підтримання в актуальному стані усіх складових топогеодезичної інформації вимагає обґрунтованих пропозицій щодо скорочення часу отримання інформації про місцевість штабами і військами всіх рівнів.

За умов великого обсягу завдань, що виконуються топографічною службою, постає питання підвищення оперативності виконання заходів з топогеодезичного забезпечення.

Постановка проблеми.

Одним з основних видів оперативного (бойового) забезпечення військ (сил) є топогеодезичне забезпечення. Частини і підрозділи топографічної служби, які організовують і здійснюють топогеодезичне забезпечення військ (сил), у відповідності до функціонального призначення [3].

Стрімкий розвиток інформаційних технологій висуває наступні сучасні вимоги до

©М.В. Приймак, С.В. Зотов, В.В. Зуйко

топогеодезичного забезпечення. Їх характерними рисами сьогодні є:

широке використання супутникових навігаційних та високоточних автоматизованих геодезичних засобів для визначення місцеположення елементів бойових порядків військ (сил), розвитку геодезичних мереж спеціального призначення;

повний перехід до цифрових технологій створення картографічної інформації;

постійне використання геоінформаційних технологій для вирішення завдань аналізу місцевості та прийняття рішень;

впровадження у війська нових видів документів про місцевість, таких, як цифрові ортофотокарти, ортофотознімки, просторові моделі місцевості, карти умов спостереження тощо;

забезпечення швидкого поширення геопросторової інформації до зацікавлених санкціонованих користувачів засобами автоматизованих систем управління;

оперативне виготовлення в польових умовах необхідних видів документів про місцевість.

У зв'язку з цим, актуальною є наукова проблема прогнозування обстановки як фактору підвищення оперативності топогеодезичного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанням добору та дослідженням методів прогнозування за допомогою регресійних моделей будь-якої складності, а також практичним аспектам їх застосування присвячені роботи [4,5]. За допомогою розроблених статистичних методів аналізу стало можливим встановлення кількісних взаємозв'язків між окремими параметрами. Крім того, регресійний аналіз дозволяє здійснювати згортку інформації за багатьма параметрами у вигляді єдиного поліноміального рівняння [5].

Вищезазначені праці висвітлили фундаментальні підходи до питань прогнозування, але в частині застосування методів регресійного аналізу під час виконання заходів топогеодезичного забезпечення дій військ (сил) розглянуті не були.

Мета статті полягає у підвищенні оперативності виконання заходів з топогеодезичного забезпечення шляхом прогнозування значень робочого набору топогеодезичних даних необхідних для підготовки і своєчасного доведення до органів управління, військових частин та підрозділів топогеодезичної інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Робочій набір даних обстановки *IS* для розробки замислу і планування операції відповідає фактичній ситуації лише на момент збору інформації ($t = 0$). Але за час організаційного етапу управління на момент ($t = TO$) початку дій військ (сил) по виконанню планових бойових завдань їх актуальність значно знижується, бо фактична ситуація на цей момент вже істотно відрізняється від ситуації на момент збору даних обстановки. Це об'єктивно веде до втрати реальної бойової ефективності бойових систем через нерелевантність планових завдань військам (силам) на момент початку їх дій [6].

Тому виникає нова задача забезпечення управління – прогнозування значень робочого набору даних обстановки IS ($t = 0$) на момент ($t = TO$) і використання даного робочого набору IS ($t = TO$) в якості вихідних даних для подальшої розробки замислу і планування операції. Дана процедура повинна входити у функцію усіх систем збору інформації даних обстановки для систем управління бойових систем (у тому числі і системи топогеодезичного забезпечення).

Нехай робочій набір даних обстановки *IS* на момент його формування ($t = 0$) складає сукупність значень n параметрів – вектор

$$X(t=0) = \left\langle x_j(0),\ j = \overline{1,n} \right\rangle. \qquad (1)$$

Прогнозування значень параметрів на інтервалі прогнозу (момент TP) потребує визначення функції тренду $Y\{X(t)\}$ по часовому лагу (глибині передісторії значень), тобто для ($t > 0$) методами регресійного аналізу. Тоді за допомогою функції тренду можлива екстраполяція значень робочого набору $X(0)$ на потрібний момент прогнозу TP, тобто визначення з припустимою точністю прогнозу (похибкою ΔX) саме $X(TP)$. Але задача прогнозування завжди є компромісною, оскільки точність прогнозу знижується при зростанні інтервалу прогнозу. Розглянемо рисунок 1.

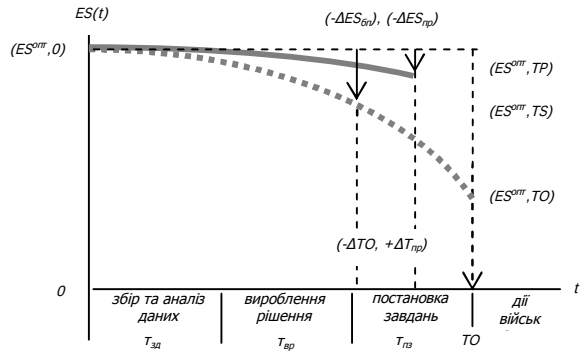

Рисунок 1 Залежність ефективності бойової системи від прогнозування обстановки

Пунктирною лінією показаний графік залежності ефективності БС від тривалості етапу оптимального організаційного управління, яка знижується до рівня ($ES^{\text{їїò}}, TO$). Заходи щодо підвищення оперативності (наукова організація) процесу етапу організаційного управління скорочують його тривалість на ($-\Delta TO$), що дає підвищення ефективності до рівня ($ES^{\text{їїò}}, TS$).

Неперервною лінією показаний графік залежності ефективності БС від тривалості оптимального процесу етапу ОУ при наявності прогнозування, яке збільшує тривалість процесу TS на додатковий час прогнозування $+\Delta T^{\text{ïð}}$, але підвищує ефективність до рівня ($ES^{\text{їїò}}, TP$). Якщо при цьому зниження ефективності через зниження

актуальності даних обстановки при прогнозуванні ($-\,\Delta ES^{ïð}$) менше, а ніж без прогнозування ($-\,\Delta ES^{âï}$), то прогнозування завжди доцільне.

Визначення функції тренду $Y\{X(t)\}$ потребує попереднього (до моменту $t=0$) спостереження часового ряду m значень її аргументу –

$$X(-t_m),...,X(-t_1) \qquad (2)$$

та обчислення методами регресійного аналізу констант аналітичного виду функції. Після цього дана функція Y придатна для екстраполяції (на інтервал прогнозу) значень $X(TP)$.

Процедура прогнозування методом часового лагу складається з наступних етапів:

спостереження часового ряду значень аргументу $X(t)$ (на протязі лагу моментів часу $[-tm,-tl)]$);

обчислення параметрів аналітичної форми і оцінка імовірності функції регресії, як функції тренду для робочого набору даних обстановки $X(t)$;

прогнозування (екстраполяція), за допомогою функції тренду $Y\{X(t)\}$, значень параметрів обстановки в момент $X(t=0)$ на момент $X(t=TP)$ початку етапу оперативного управління діями сил в операції.

Таким чином, формування робочого набору даних обстановки з прогнозуванням потребує певної зміни, в порівнянні з існуючою, процедури формування, а саме – збір даних на протязі потрібного (для точності визначення функцій тренду) часового лагу (до початку операції або вже у процесі збору даних етапу організаційного управління, визначення функцій тренду даних робочого набору та прогнозування. Це приводе, з одного боку, до зростання тривалості етапу організаційного управління саме на ($+\Delta T^{ïð}$), а з другого боку – до зменшення втрати планової ефективності бойової системи.

Слід відмітити, що скорочення інтервалу прогнозу вдосконаленням процесу функціонування системи управління на етапі оперативного управління суттєво підвищує точність і імовірність прогнозування, що є додатковим фактором підвищення бойової ефективності бойової системи.

Для об'єктів, системні показники яких не мають сталого тренду (так звані динамічні системи), прогнозування можливе методом системної динаміки (по Дж. Форрестеру). Прогнозною інформацією є, як правило, чисельний стан різнорідних ресурсів об'єкту на протязі інтервалу прогнозу.

Математична модель об'єкта динамічна система надається повно зв'язним орієнтованим графом, вершинами якого є чисельні стани різнорідного ресурсу підсистем над-системи, а інцидентними до верши дугами – напрямки переходів різнорідних ресурсів між чисельними станами з відповідними темпами. Тоді граф-модель системи описується двома компонентами:

матриця чисельності станів підсистем за видами ресурсу

$$N_{m'z}(t)=\|n_{ik}(t)\|_{m'z}, \qquad (3)$$

де m – кількість чисельних станів (підсистем) системи, z – кількість видів різнорідних ресурсів системи;

матроїд (багатомірна матриця) темпів переходу різнорідного ресурсу між суміжними чисельними станами системи –

$$\Lambda_{m'm'z}(t)=\|\lambda_{ijk}(t)\|_{m'm'z}. \qquad (4)$$

Процес зміни чисельності станів підсистем у модельному часі (динаміка над-системи) описується матрицею диференційних рівнянь –

$$\dot{N}_{m'z}=\left\|\frac{dn_{ik}}{dt}=-\sum_{j=1\,j\neq i}^{m}\lambda_{ijk}(t)+\sum_{j=1\,j\neq i}^{m}\lambda_{jik}(t)\right\|_{m'z} \qquad (5)$$

Рішення системи диференційних рівнянь матриці при початкових умовах (для моменту модельного часу $t=0$) –

$$\begin{aligned} N_{m'z}(t=0)&=\|n_{ik}(t=0)\|_{m'z},\\ \Lambda_{m'm'z}(t=0)&=\|\lambda_{ijk}(t=0)\|_{m'm'z} \end{aligned} \qquad (6)$$

дає значення поточної чисельності станів на бажаний момент прогнозу ($t=T$) –

$$N_{m'z}(t=T)=\|n_{ik}(t=T)\|_{m'z} \qquad (7)$$

Якщо темпи $\Lambda_{m'm'z}=\|\lambda_{ijk}\|_{m'm'z}$ незмінні у часі, то в процесі переходів ресурсів між підсистемами через певний час $(t=T^{ñòàò})$ в системі встановлюється стаціонарний режим, коли чисельності станів досягають своїх асимптотичних значень, яки практично не змінюється, і саме вони є прогнозними значеннями на будь-який інтервал прогнозу $T>T^{ñòàò}$.

Якщо темпи $\Lambda_{m'm'z}(t)=\|\lambda_{ijk}(t)\|_{m'm'z}$ змінюються у часі (за дією випадкових або невизначених факторів, чи вони є керованими), то процес переходів не буде стаціонарним, що потребує імітаційного моделювання процесу до потрібного моменту прогнозу $(t=T)$.

Комп'ютерна дослідницька імітаційна модель системної динаміки розроблена воєнними науковцями. Штабна модель для прогнозування повинна мати масиви достатньої розмірності (матрицю чисельності станів за видами ресурсу та матриоїд темпів потоків ресурсів за видами), які заповнюються конкретним робочим набором вихідних даних для моделювання, а також типову процедуру рішення системи диференційних рівнянь чисельними методами (наприклад, методом дотичних Ейлера).

Метод дотичних полягає у переході від похідних до співвідношення диференціалів (кінцевих різниць) у рівняннях (5)

$$\dot{N}_{m'z}\approx\left\|\frac{\Delta n_{ik}(t)}{\Delta t}\approx-\sum_{j=1\,j\neq i}^{m}\lambda_{ijk}(t)+\sum_{j=1\,j\neq i}^{m}\lambda_{jik}(t)=f_{ik}(t)\right\|_{m'z} \qquad (8)$$

Тепер можливо представити кінцеві різниці сусідніми у модельному часі значеннями, а саме –

$$\dot{N}_{m' z} \approx \left\| \frac{n_{ik}(t+\Delta t) - n_{ik}(t)}{\Delta t} \approx f_{ik}(t) \right\|_{m' z} \quad (9)$$

Звідси одержимо рекурентне рівняння для даної чисельності стану на кожний подальший момент часу $(t+\Delta t)$ в залежності від чисельності стану у поточний момент часу t –

$$N_{m' z}(t) = \left\| n_{ik}(t+\Delta t) \approx n_{ik}(t) + (f_{ik} \cdot \Delta t) \right\|_{m' z} \quad (10)$$

Алгоритм моделювання системної динаміки наступний.

Початкові присвоювання:

ввід розмірності масивів *m,z*;

заповнення матроїда темпів Λ константами початкових значень;

заповнення матриці чисельних станів N початковими значеннями;

введення значення дискретності модельного часу Δt (одиниці часу);

введення значення модельного часу T (одиниці часу);

введення поточного значення циклу моделювання $k:=0$;

обчислення поточного значення (9) функції $f(k)$.

k-й цикл моделювання

1. Присвоювання номеру циклу ($k:=k+1$).

2. Присвоювання –

$$\left\| n_{ik}(k) \approx n_{ik}(k-1) + f_{ik}(k-1) \cdot \Delta t) \right\|_{m' z} \quad (11)$$

3. Перевірка умови чи $(k \times \Delta t) \geq T$? Якщо так, то перехід на етап кінець процесу.

4. Перерахунок значень елементів матроїду (тільки для нестаціонарного процесу) на момент $(t=k \times \Delta t)$ –

$$\Lambda_{m' m' z}(k) = \left\| l_{ijk}(t) = l_{ijk}(k \cdot \Delta t) \right\|_{m' m' z} \quad (12)$$

5. Обчислення поточного значення (8) функції $f(k)$.

6. Перехід до пункту 1 наступного циклу.

кінець процессу

Результати моделювання:

значення елементів масиву $N(k)$ для останнього циклу моделювання (тобто на момент прогнозу T);

кількість циклів моделювання k.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, у статті запропоновано підхід підвищення оперативності виконання заходів з топогеодезичного забезпечення шляхом прогнозування значень робочого набору топогеодезичних даних необхідних для підготовки і своєчасного доведення до органів управління, військових частин та підрозділів топогеодезичної інформації за рахунок використання регресійного аналізу.

Література

1. Чорнокнижний О. А. Теоретичні основи застосування за призначенням частин та підрозділів топографічної служби. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Київ: №2 (35), 2016. С. 43–45. **2. Зотов С. В., Савчук Р. Г., Чорнокнижний О. А.** Аналіз забезпечення збройних сил провідних країн світу спеціальними картами та фотодокументами про місцевість у локальних війнах і збройних конфліктах останніх років. Науково-технічний журнал ЦНДІ ОВТ ЗСУ, №2 (6). Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2015. С. 43–47. **3. Положення** про частини топографічної служби Збройних Сил України. Київ: ВТУ ГШ ЗС України. 2000. **4. Астахов А. Д.** Пути создания модели оценки эффективности системы топогеодезического обеспечения войск. Москва: РИО ВТС. 1984. 185 с. **5. Норман Дрейпер, Гарри Смит** Прикладной регрессионный анализ. Москва: Диалектика. 2016. 912 с. **6. Смаль С. В., Чорнокнижний О. А.** Питання визначення раціонального способу виконання завдань навігаційного забезпечення. Труди академії. Національна академія оборони України. Київ: НАОУ. 2005. С. 136-139

ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РЕГРЕСИВНОГО АНАЛИЗА

Сергей Валентинович Зотов
Михаил Виталиевич Приймак
Виталий Владимирович Зуйко *(кандидат военных наук)*

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье рассмотренный поход повышения оперативности выполнения задач по топогеодезическому обеспечению путем прогнозирования значений рабочего набора топогеодезических данных, что дает возможность сократить время необходимое для постановки задач на применение сил топографической службы. Определение значений параметров рабочего набора данных на интервале прогноза осуществляется путем нахождения функции тренда по временному лагу (глубине предыстории значений) с помощью регрессионного анализа. Таким образом с помощью функции тренда возможна экстраполяция значений рабочего набора топогеодезических данных на необходимый момент прогноза, что в свою очередь позволяет повысить оперативность определения количества задач по топогеодезическому обеспечению.

Ключевые слова: *топогеодезическое обеспечение, прогнозирование, регрессионный анализ, оперативность, рабочий набор данных.*

Mikhailo V. Prvimak
Serhiy V. Zotov
Vitaliy V. Zuiko (Candidate of Military Sciences)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

ENHANCING OPERATIONAL EFFICIENCY OF TOPOGEODEZIC SUPPORT WITH THE HELP OF REGRESSIONAL ANALYSIS

The article considers the approach to increase the efficiency of the task implementation of topogeodetic provision by forecasting the values of the working set of topogeodetic data, which makes it possible to reduce the time required to set tasks for the use of the forces of topographic service. Determining the values of the parameters of the working data set at the forecast interval is carried out by finding the trend function for the time lag (deep prehistory values) using regression analysis. Thus, using the trend function, the extrapolation of the values of the working set of topogeodetic data at the desired moment of forecast is possible, which in turn allows us to increase the efficiency of determining the number of actions for the topogeodetic maintenance.

***Key words**: topogeodesic support, forecasting, regression analysis, efficiency, working data set.*

References

1. Chernoknizhny A. A. Theoretical bases of use of the units and topographic service / Chernoknizhny A. A. // Bulletin of Kyiv national University named after Taras Shevchenko. K.: №2 (35), 2016. – P. 43 – 45 **2.** The position of the topographic service of the Armed Forces of Ukraine. Kiev. : WTU General staff of the armed forces of Ukraine, 2000. **3. Smal S. V.** the problem of determining the rational way of performing tasks, navigation / Sec.In. Smal, A. A. Chernoknizhny // Proceedings of the Academy / NAO Ukraine. - K., 2005. - S. 136-139 **4. Fedchenko A. P.** Application of a systematic approach in the study of improving the efficiency of the survey support the operational grouping of troops (forces) in operation and O. P. Fedchenko, G. Pisarenko, V. // Collection of scientific works. - K.: the MIKNU, 2011. - No 30 —S. 275-278.