

УДК 528.41-027.45-047.44

ФОРМУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ІМОВІРНІСНОЇ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ОПОРНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПУНКТІВ

С. Бєгичев, Г. Ішутіна

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Ключові слова: оцінка надійності, ймовірність, об'єкт, система, елемент, пункти геодезичної мережі.

Постановка проблеми

Уже назріла необхідність під час оцінювання стану пунктів геодезичної мережі, що використовуються для виконання певних видів геодезичних і кадастрових робіт, застосовувати характеристику надійності. Поняття “надійність” є комплексним та об'єднує такі складові: точність, стабільність, збереженість, довговічність тощо. Забезпечення надійними вихідними параметрами опорних пунктів, які планують використовувати в геодезичному моніторингу, дозволяє отримати достовірні надійні результати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Дослідження надійності геодезичних мереж описано в численних публікаціях у наукових виданнях.

У праці [1] автор вперше ввів поняття надійності геодезичної мережі, під яким розуміють здатність мережі реагувати на вплив додаткових чинників, зокрема, грубих похибок вимірювань. У публікації [2] автор вказує, що показник надійності не менш важливий, ніж показники точності. Проте в чинних інструкціях щодо побудови планових і висотних мереж відсутні методики розрахунку та допуски на значення параметра надійності. У статтях [3–7] наведено основні концепції дослідження, а також алгоритми для аналітичного обчислення надійності традиційних геодезичних побудов (полігонометрії, триангуляції та трилатерації).

Питання оптимізації із використанням параметра надійності геодезичної побудови розглянуто в брошурах [8, 9].

У праці [10] наведено методику розрахунку необхідної кількості вимірів для досягнення високої надійності геодезичної мережі. В роботах [11, 12] за допомогою методу математичного моделювання виведено функцію залежності надійності активних моніторингових геодезичних мереж від визначника коваріаційної матриці (критерію D) і відсотка використаних надлишкових вимірювань.

Огляд публікацій переконує, що питання дослідження надійності геодезичних побудов є перспективним напрямом інженерної геодезії, а розроблення параметрів, що характеризують надійність, і оцінка ефективності їх практичного застосування є актуальними завданнями.

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження методів оцінювання параметра надійності для формування методології оцінки надійності опорних пунктів геодезичної мережі та отримання достовірних даних під час вирішення різних інженерних завдань геодезичного забезпечення.

Виклад основного матеріалу

Термін “надійність” відображає дуже широке поняття, що використовується у різних сферах науки і техніки. У загальному випадку під надійністю технічного об'єкта розуміють його властивість виконувати задані функції в заданому обсязі за певних умов функціонування.

Під час дослідження надійності розрізняють надійність об'єкта, системи та елемента. Стосовно геодезії:

- об'єкт – Державна геодезична мережа;
- система – це сукупність елементів, що взаємодіють у процесі виконання визначених завдань та взаємно пов'язані функціонально (геодезична мережа 1, 2, 3, 4 класів і т.д);
- елемент – елементарна складова одиниця системи (геодезичний пункт).

Оцінювання надійності об'єктів здійснюється різними методами, спрямованими на забезпечення надійності на етапах проектування, виробництва та експлуатації на основі ймовірнісного підходу і враховує структуру об'єкта.

Стосовно геодезичних пунктів – це властивість забезпечувати незмінність їх положення у межах допустимої точності визначення координат [13]. Кількісно ця властивість виражається у таких показниках, як ймовірність зсувів, як у плані, так і по висоті, довговічність їх служби. На рис. 1 показано основні складові надійності.

Запропоновано класифікацію методів оцінки надійності геодезичної мережі за трьома ознаками (рис. 2):

- залежно від підходів до оцінювання;
- залежно від вибраної моделі надійності;
- за критеріями відмов.

Залежно від закону розподілу випадкових величин методи дослідження надійності поділяють на дві групи: методи, які ґрунтуються на припущенні щодо експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи, що описують спонтанні відмови незалежного випадкового характеру, та методи, які використовують гіпотези щодо безвідмовної роботи за нормальним розподілом, розподілом Релея і Вейбула, гамма-розподілом.



Рис. 1. Основні складові надійності



Рис. 2. Класифікація методів оцінювання надійності об'єктів

Розрізняють прості та структурно-імовірнісні методи дослідження надійності. Існують такі обмеження використання простих імовірнісних моделей:

- наявність малої статистичної вибірки і відсутність апріорної інформації про розподіл показників надійності об'єкта;
- вимірювання навантаження і фізико-хімічних властивостей середовища в часі;
- вплив характеру навантаження, який випереджає заданий стан об'єкта, на процес його подальшого руйнування.

Структурно-імовірнісні методи використовують для розв'язання таких завдань:

- виявлення фізичної структури міцності об'єкта;
- встановлення кінетичних закономірностей руйнування об'єкта залежно від його фізичної структури;

- урахування впливу на руйнування фізико-хімічних процесів взаємодії об'єкта із середовищем;
- встановлення взаємодії між законом зміни навантаження і зміною координат.

Значний інтерес викликають загальні методи дослідження надійності опорних геодезичних пунктів під час проведення геодезичного моніторингу.

Для цього можна використати такі методи аналізу видів, наслідків та інтенсивності відмов: метод рівномірного розподілу надійності; вагових коефіцієнтів; мінімізації витрат; невизначених множників Лагранжа; врахування впливу факторів на надійність; матричний метод розрахунку надійності; метод домінуючих послідовностей з обмеженнями; метод Дельфі; метод статистичного моделювання тощо [14].

Метод рівномірного розподілу надійності використовують для оцінювання надійності технічних об'єктів, які складаються із n статистично незалежних послідовно з'єднаних підсистем з однаковою надійністю R_i за умови:

$$R_G = \prod_{i=1}^n R_i = R_i^n, \quad (1)$$

де R_G – задана надійність; R_i – надійність i -ї підсистеми.

Перевагою цього методу є простота, а недоліком – те, що заданий рівень надійності системи встановлюється без врахування ступеня витрат, необхідних для його досягнення. Використовується за відсутності експериментальних даних про надійність окремих систем. Надійність систем задають однаковою.

Метод вагових коефіцієнтів використовують за умов експоненціального розподілу, коли необхідно подати надійність через інтенсивність відмов:

$$\sum_{i=1}^n N_i K_i = \sum_{i=1}^n \frac{N_i K_i}{\lambda}, \quad (2)$$

де n – кількість блоків (елементів) різноманітних типів; K_i – коефіцієнт надійності i -го елемента; λ – інтенсивність відмов елемента, прийнятого за еталон; λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента; N_i – кількість елементів i -го типу.

До переваг цього методу можна зарахувати можливість розрахунку надійності за обмежених даних про надійність складових елементів, а також можливість виконання порівняно точних оцінок надійності на початкових етапах проектування.

Метод мінімізації витрат дає змогу мінімізувати витрати на досягнення необхідного рівня надійності. Витрати $c_i(R_i)$ на досягнення i -м компонентом об'єкта надійності R_i повинні ґрунтуватися на експериментальних даних. Застосування цього методу можливе за умов: представлення функції надійності об'єкта через надійність окремих елементів; незалежності відмов окремих систем і елементів. Загальні витрати на систему розраховують за формулою

$$\min C = \sum_{i=1}^n c_i(R_i) \quad \text{при } R_S \geq R_G, \quad (3)$$

де C – загальні, відносні витрати на систему; $c_i(R_S)$ – витрати на i -му компоненті системи; R_i – надійність i -го компонента; R_S – надійність, що прогнозується.

Метод невизначених множників Лагранжа [14] надає можливість оцінити надійність з урахуванням вартісних показників. Основним недоліком цього методу є складність встановлення аналітичних залежностей між надійністю і вартістю варіантів окремих підсистем. Час безвідмовної роботи кожної підсистеми має експоненціальний розподіл. Оптимальна інтенсивність відмов i -ї підсистеми визначається за формулою

$$\lambda_{i\text{opt}} = \lambda_s \frac{\sqrt{c}}{\sum_1^n \sqrt{c}}, \quad (4)$$

де вартість i -ї підсистеми визначається за формулою $c_i = c_{0i} + c_{1i}T + c_{2i}T^2$.

Час напрацювання системи на відмову дорівнює $T_s = 1/\lambda_s$.

Метод урахування впливу факторів на надійність надає можливість встановити залежність між надійністю та факторами впливу. Для отримання точних розрахунків виконують детальний аналіз всіх факторів, розподілу вимог до надійності між елементами, які враховують основні фактори: складність структури; чутливість підсистем до кожного із істотних параметрів навколишнього середовища; критичність відмов; досягнутий рівень надійності окремих підсистем та їх елементів.

Метод розрахунку надійності за даними про інтенсивність відмов [14] передбачає отримання точних результатів лише на завершальному етапі розрахунків складної системи, коли виготовлені зразки й експериментально визначено режими роботи усіх елементів. Використання методу передбачає наявність статистичних даних про надійність різних типів елементів за різних температур, навантажень, вібрацій, вологості та інших умов. Інтенсивність відмов системи (λ_i) розраховують за формулою

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^r \lambda_i N_i, \quad (5)$$

де λ_i – інтенсивність відмов елементів; N_i – кількість елементів.

Матричний метод розрахунку надійності дає змогу розробити матриці можливих станів системи, враховуючи усі можливі події; для кожного із можливих станів вказують ймовірність події:

$$P = \sum_{i=0}^k P(H_i). \quad (6)$$

Метод дає змогу врахувати ефект наслідку потоку миттєвих відмов складної системи. Основними недоліками є великий обсяг розрахунків та неможливість обчислення кількісних характеристик надійності як функції часу.

Метод Дельфі належить до евристичних методів і передбачає використання процедури опитування експертів, статистичну обробку результатів оцінювання. За допомогою цього методу розв'язуються такі задачі, як виявлення деталей об'єкта, що обмежують їх надійність, визначення кількісних та якісних показників експлуатаційної надійності; визначення вагомості різноманітних факторів, що впливають на надійність об'єкта.

Сутність методу статистичного моделювання (метод Монте-Карло) полягає у тому, що процес функціонування об'єкта подають у вигляді математичної імовірнісної моделі, яка відображає в реальному масштабі часу події (відмови), що відбуваються в об'єкті. За допомогою вибраної моделі на ЕОМ багаторазово простежується процес функціонування вказаного об'єкта, а за отриманими результатами визначають пошукові характеристики цього процесу, які є показниками надійності.

Загальний недолік більшості зазначених методів оцінювання надійності – істотне обмеження сфери їх використання – пов'язаний з тим, що вони не дають змоги визначити кількісні характеристики надійності як функції часу та уможливають визначення лише ймовірності того, що вихідні характеристики системи будуть у заданих межах у певний період часу.

Висновки

Виконаний аналіз різних методів оцінки надійності показав, що для більшості з них характерне обмеження сфери їх використання.

Для імовірнісної оцінки надійності опорних геодезичних пунктів рекомендується використовувати метод врахування впливу факторів на надійність, який надає можливість встановити залежність між надійністю та факторами впливу, дає змогу виконати детальний аналіз всіх факторів, що негативно впливають на стійкість, довговічність та надійність геодезичних пунктів, врахувати складність структури, чутливість підсистем до кожного із істотних параметрів навколишнього середовища, виявити критичність відмов а також досягнутий рівень надійності окремих систем та їх елементів

Література

1. Vaarda W. A testing procedure for use in geodetic networks / W. Vaarda // Netherlands Geodetic Commission. – 1968. – V. 2. – № 5. – P. 28–35.
2. Маркузе Ю. И. Основы уравнительных вычислений: учеб. пособие для вузов / Ю. И. Маркузе. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
3. Вагин В. А. Влияние соотношения точности угловых и линейных измерений на внутреннюю надежность в полигонометрических построениях / В. А. Вагин, Диб Бирути // Изв. вузов. “Геодезия и аэрофотосъемка”. – 1992. – № 2.1. – С. 8–15.
4. Вагин В. А. Вычисление параметров внутренней надежности в полигонометрии / В. А. Вагин, Диб Бирути // Изв. вузов. “Геодезия и аэрофотосъемка”. – 1993. – № 3. – С. 9–21.
5. Вагин В. А. Исследования по надежности полигонометрических ходов и сетей / В. А. Вагин // Изв. вузов. “Геодезия и аэрофотосъемка”. – 1990. – № 1. – С. 3–10.
6. Родионова Ю. В. О точности и надежности единой городской геодезической основы / Ю. В. Родионова // Вестн. СГГА. – 2005. – № 10. – С. 76–79.
7. Родионова, Ю. В. Проектирование надежных геодезических сетей / Ю. В. Родионова, Б. Н. Дьяков // ГЕО-Сибирь-2006: сб. материалов междунар. науч. конгр., 24–28 апр. 2006 года. – Новосибирск: СГГА, 2006. – С. 62–66.
8. Вагин В. А. Оптимизация геодезических сетей по критериям точности и надежности / В. А. Вагин // Изв. вузов. “Геодезия и аэрофотосъемка”. – 1992. – № 1. – С. 25–32.
9. Родионова Ю. В. Оптимизация плановой геодезической сети города N по критерию геометрической надежности / Ю. В. Родионова // Вестн. СГГА. – 2006. – № 11. – С. 125–129.
10. Родионова Ю. В. О повышении надежности некоторых геодезических построений / Ю. В. Родионова, Б. Н. Дьяков // Геопрофи. – 2004. – № 4. – С. 48–50.
11. Третьяк К. Р. До питання надійності активних моніторингових геодезичних мереж / К. Р. Третьяк, І. Р. Савчин // Геодезія, картографія та аерофото-знімання. – Львів, 2013. – Вип.77. – С. 122–126.
12. Третьяк К. Р. Розроблення методики розрахунку надійності активних моніторингових мереж / К. Р. Третьяк, І. Р. Савчин // Вісник геодеї та картографії. – К.: НДІГК, 2013. – Вип. 1(82). – С. 5–10.
13. Ішутіна Г. С. Математична основа для оцінки надійності геодезичних мереж / Г. С. Ішутіна // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія. Географія. Землеустрій. – 2014. – Вип. 3. – С. 59–65.
14. Берестнев О. В. Нормирование надежности технических систем: монография / О. В. Берестнев, Ю. Л. Солитерман, А. М. Гофман. – Минск.: Технопринт, 2004. – 266 с.

Формування методології імовірнісної оцінки надійності опорних геодезичних пунктів

С. Бегічев, Г. Ішутіна

Проаналізовано різні методи оцінки надійності, що дало змогу сформувати методологічний підхід для ймовірнісної оцінки надійності опорних геодезичних пунктів.

Формирование методологии вероятностной оценки надежности опорных геодезических пунктов

С. Бегичев, А. Ишутина

Проанализированы существующие методы оценки надежности, позволившие сформировать методологический подход для вероятностной оценки надежности опорных геодезических пунктов.

Analysis methods for probabilistic reliability assessment geodetic control points

S. Begichev, G. Ishutina

Analyzed existing methods for assessing the reliability enabled to form a methodological approach for probabilistic reliability assessment geodetic control points.