

DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.612-624

УДК 528.4:504.5

к.т.н., доцент **Ішутіна Г.С.**,

ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0665-3040,

к.т.н., доцент **Бегічев С.В.**,

sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754,

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

ПЕРЕДРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ТА ПРИРОДНИХ ЧИННИКІВ

Попередню оцінку надійності різних технічних систем виконують у різних галузях науки і техніки. Вона дозволяє на етапі системотехнічного проектування обчислити прогнозовані показники надійності та обрати оптимальний варіант технічної системи серед запропонованих технічних проєктів. Наразі існують стандарти, які містять загальні вимоги і положення щодо розрахунку на стадії проектування показників безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності, тощо. На основі державних стандартів розробляється галузева нормативна та методична документація на методи розрахунку надійності для конкретної технічної системи. Геодезичні мережі (ГМ), на перший погляд, можна віднести до статичних технічних систем. Проте такі припущення є помилковими, оскільки з часом відбувається зміщення просторового положення геодезичних пунктів під впливом як техногенних, так і природних чинників. У спеціалізованих Стандартах з оцінки надійності телекомунікаційних та радіоелектронних систем (MIL-217, PRISM, FIDES тощо) містяться формули для розрахунку інтенсивності відмов для ідеальних умов, а також для реальних умов (з урахуванням впливу різних чинників). Проте, наведені формули в цих Стандартах орієнтовані для радіоелектронних засобів, містять набір специфічних факторів впливу і для геодезичних мереж їх застосувати неможливо. Отже постає необхідність розроблення критеріїв із вибором відповідних коефіцієнтів для правильного врахування інтенсивності відмов геодезичних пунктів. Хоча цей підхід урахування комплексного впливу різних факторів на функціонування геодезичної мережі вимагає багато часу і грошей на виконання розрахунків, але на етапі проєктування ГМ він дозволяє виявити реальні значення інтенсивності відмов геодезичних пунктів, отримати сумарне значення інтенсивності відмов, а знаючи його можна отримати середній час роботи до відмови або ймовірність безвідмовної роботи.

Ключові слова: передрахунок надійності; геодезична мережа; техногенні та природні чинники; інтенсивність відмов; ймовірність безвідмовної роботи; середній час роботи до відмови.

Постановка проблеми. Надійність стала окремою галуззю з 1950 року. Саме в цей час сформувались наукові школи з певною методологією, що займались питанням оцінки надійності, вивченням відмов та факторів, що впливають на вихід з ладу технічних систем, з'явилась наукова література з надійності техніки, перші Стандарти з оцінки надійності. Поняття надійності є комплексним та має відповідно до ДСТУ 2860-94 наступні властивості:

«довговічність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту;

безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції у певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку;

ремонтпридатність – властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту;

збережуваність – властивість зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, під час і після зберігання та (чи) транспортування;

готовність – властивість об'єкта, бути здатним виконувати потрібні функції у заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами» [1].

Готовність на відміну від інших властивостей притаманна лише відновлюваним технічним системам.

Проблема підвищення надійності є актуальною в наш час. Методи аналізу надійності використовуються для прогнозування безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, готовності технічних систем та заходів щодо забезпечення безпеки об'єкта, а також для порівняння наслідків прогнозування із заданими вимогами. Застосування кількісних методів аналізу надійності дозволяють:

– визначити кількісні показники надійності та встановити можливість дотримання вимог щодо рівня надійності;

– виконати порівняльний аналіз надійності декількох проєктних варіантів;

– прогнозувати й оптимізувати надійність з урахуванням встановлених вимог, стратегій технічного обслуговування та ремонту, вжитих заходів щодо підвищення надійності.

Установлено, що 40-45% відмов виникає внаслідок помилок під час проєктування технічних систем або приладів; 20% – відмови внаслідок помилок

виробництва; 30% – помилки при експлуатації обслуговуючим персоналом; 5-7% – відмови через деградацію матеріалів при експлуатації і зберіганні пристроїв та елементів (старіння елементів, часові відмови). Отже, найбільша кількість відмов виникає на стадії проєктування технічних систем і для їх усунення важливим є виконання попередньої оцінки надійності, коли системи фактично ще немає.

Виділення невирішеної проблеми. З метою отримання достовірних даних попередньої оцінки надійності запроєктованої геодезичної мережі потрібно враховувати вплив комплексу факторів, як техногенного, так і природного походження. Наразі існує ціла низка державних стандартів України що містять: терміни та визначення основних понять у галузі надійності [1], основні положення та порядок проведення аналізу надійності об'єктів на всіх стадіях життєвого циклу [2], загальні вимоги і положення щодо розрахунку (на стадії проєктування) показників безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності та комплексних показників (коефіцієнта готовності, коефіцієнта оперативної готовності, коефіцієнта технічного використання) [3], загальні вимоги до програм забезпечення надійності та їх елементів, а також порядок їх розроблення [4], основні положення щодо експериментального оцінювання і контролю надійності техніки, визначає види експериментального дослідження надійності, показники якості результатів експериментального дослідження і порядок встановлення вимог до цих показників, організацію і порядок проведення робіт з експериментального дослідження надійності [5], методи вибору планів і обсягів випробувань, оцінки показників надійності за результатами випробувань [6]. Проте в жодному з них відсутнє врахування впливу чинників, що збільшують інтенсивність відмов технічних систем. Отже, використання описаних методик не дає повного уявлення про надійнісний стан ГМ, процес її функціонування та вихід з ладу її елементів (геодезичних пунктів). Є потреба у створенні спеціальної методики для розрахунку інтенсивності відмов геодезичних пунктів, що враховує вплив техногенних та природних чинників шляхом застосування спеціальних коефіцієнтів.

Метою роботи є передрахунок надійності геодезичної мережі. Виведення формули для попереднього розрахунку інтенсивності відмов геодезичної мережі в реальних умовах на основі врахування комплексного впливу чинників на вихід з ладу геодезичних пунктів. Розроблення критеріїв для врахування впливу техногенних та природних чинників (шкали для вибору коефіцієнтів).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі існує багато методів оцінки надійності технічних систем. Найбільш поширеними є: FMEA-аналіз (Failure Mode and Effects Analysis), метод марківських моделей, метод Монте-

Карло, метод структурної схеми надійності (Reliability Block Diagram - RBD), логіко-ймовірнісне моделювання з побудовою «дерев відмов», тощо. Кожен з наведених методів має свої переваги, недоліки та особливості застосування для оцінки надійності геодезичних мереж.

Оцінці надійності геодезичних мереж та результатів геодезичних вимірів присвячені роботи як українських (Бегічев С.В., Ішутіна Г.С. [7], Гладілін В.М. [8], Ткаченко Ю.Ф., Третяк К.Р., Савчин І.Р.), так і закордонних вчених (Baarda W., Nowak E., Odziemczyk W. [9], Prószyński, W. [10], Gilad Even-Tzur [11] тощо).

У публікації [7] проаналізовано побудовані дискретно-неперервні стохастичні марківські надійнісні моделі функціонування маркшейдерсько-геодезичної мережі (МГМ) з повним та поточним відновленням, виконаний чисельний розрахунок коефіцієнта готовності, граничних імовірнісних станів, середнього часу між відмовами, середнього часу до першої відмови. Авторами представлена графічно імовірність безвідмовної роботи у вигляді графу переходів, що описує логіку функціонування МГМ. На основі графа станів і переходів (графічної моделі) за алгоритмом Колмогорова-Чепмена побудована аналітична модель надійнісної поведінки МГМ. Складено та розв'язано систему лінійних диференційних рівнянь Колмогорова-Чепмена. Отриманий розподіл ймовірностей перебування в кожному стані маркшейдерсько-геодезичної мережі.

Автори публікації [9] прийшли до висновку, що оптимально спроектована геодезична мережа характеризується відповідним рівнем точності та надійності, що перетворюється на здатність виявляти помилки в спостереженнях та вищу достовірність отриманих положень геодезичних пунктів.

Основним способом забезпечення належної надійності мережі є отримання достатньої кількості надлишкових спостережень. Однак цей підхід стикається з обмеженнями, що виникають через додаткові витрати. У цій статті аналізується можливість забезпечення відповідних параметрів надійності для мереж з помірною надлишковістю. Поширеною проблемою в таких випадках є залежності між спостереженнями, що перешкоджають отриманню необхідного індексу надійності для кожного окремого спостереження.

Автори у роботі [9] пропонують методологію аналізу залежностей між спостереженнями з метою визначення можливості отримання оптимальних індексів надійності для кожного окремого спостереження або груп спостережень.

З теорії надійності випливає, що чим більша надлишковість спостережень у мережі, тим вищий рівень її внутрішньої надійності. Однак, враховуючи фізичну природу процесу вимірювання, можна помітити, що заплановані

додаткові спостереження можуть збільшити кількість потенційних грубих помилок у мережі, не підвищуючи внутрішню надійність до теоретично очікуваного ступеня. Отже, необхідно встановити реалістичні обмеження для достатньої кількості спостережень у мережі.

У статті [10] автором запропоновані принципи для знаходження таких обмежень. Використана формула «закону грубих помилок», що визначає ймовірність виникнення певної кількості грубих помилок у мережі. Автором були сформульовані рекомендації щодо визначення верхніх меж внутрішніх показників надійності.

У публікації [11] досліджено вплив визначення датуму на надійність геодезичних мереж. Особлива увага приділяється геометрії вихідних пунктів, враховується їх кількість, розподіл та їх вплив на зовнішню надійність точок мережі. Автор звертає увагу на те, що внутрішня надійність мережі, на відміну від зовнішньої надійності, не залежить від розподілу пунктів, їх геометрії.

Представлена автором нова перспектива та описані відповідні параметри дозволяють визначити та кількісно оцінити вплив геометрії на зовнішню надійність геодезичних мереж.

Після введення концепції надійності геодезичних мереж та розробки теоретичного інструментарію, у статті Gilad Even-Tzur [11] представлені результати числових експериментів, проведених зі схематичною плановою мережею GPS. Ці результати показують, що надійність скоригованих координат у геодезичній мережі залежить від геометричного розподілу точок, що визначають датум мережі.

Основна частина. Попередня оцінка надійності геодезичної мережі – це процес обчислення прогнозованих показників надійності: сумарної інтенсивності відмов (λ), середнього часу роботи до відмови (MTTF) та ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ за заданий інтервал експлуатації як сукупності передбачуваних показників відмов компонентів з урахуванням режимів та умов їх експлуатації, навколишнього середовища тощо. У результаті попередньої оцінки надійності ГМ на стадії проєктування отримують кількісні показники надійності та можливість оцінити, наскільки запропоновані на етапі проєктування засоби забезпечення надійності ГМ відповідають технічному завданню. Разом з цим попередня оцінка надійності дозволяє провести порівняння між різними запроєктованими схемами ГМ та обрати найбільш доцільний варіант. Метою проведення попередньої оцінки надійності ГМ є:

- визначення потенціалу (безвідмовної роботи) ГМ для задоволення вимог до її надійності;
- оцінка витрат на життєвий цикл ГМ;

- виявлення компонентів геодезичних мереж (геодезичних пунктів), вихід з ладу яких призводить до втрати надійності ГМ;

- можливість вибору оптимальних значень показників надійності, ремонтпридатності й інтервалами обстеження (відновлення) ГМ для досягнення заданого рівня готовності.

До чинників, що визначають точність попередньої оцінки надійності ГМ можна віднести:

1. актуальність даних про інтенсивність відмов та обраних факторів навколишнього середовища;

2. точність математичної моделі.

Інтенсивність відмов ГМ в ідеальних умовах (без впливу різних факторів) можна розрахувати за формулою:

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1)$$

де λ_j – інтенсивність відмов i -го елемента (геодезичного пункту) за даними усереднених багаторічних спостережень j -ї геодезичної мережі;

n – кількість елементів j -ї ГМ.

Сумарна інтенсивність відмов ГМ буде:

$$\Lambda = \sum_{k=1}^m \lambda_{jk} \quad (2)$$

Середній час роботи до відмови буде:

$$MTTF = \frac{1}{\Lambda} \quad (3)$$

Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$R(t) = e^{-\Lambda t} \quad (4)$$

У реальних умовах під час прогнозування інтенсивності відмов ГМ рекомендуємо враховувати ряд чинників, вплив яких зменшує надійність, але при цьому є можливість отримати реальні значення інтенсивності відмов геодезичних мереж. У наведеній формулі кожен чинник виражений відповідним коефіцієнтом:

$$\lambda_p = \lambda_i \cdot \pi_{ст} \cdot \pi_{дт} \cdot \pi_p \cdot \pi_r \cdot \pi_{гг} \quad (5)$$

де, $\pi_{ст}$ – чинник статичного техногенного навантаження;

$\pi_{дт}$ – чинник динамічного техногенного навантаження;

π_p – чинник впливу рельєфу;

π_r – геологічний чинник;

$\pi_{гг}$ – гідрогеологічний чинник (рівень ґрунтових вод).

У роботі [8] наведена середньостатистична інтенсивність знищення ($\lambda_i = 1$ пункт за рік, або $1,1 \cdot 10^{-4}$ пунктів за годину) та відновлення ($\mu_i = 1$ пункт за рік) пунктів полігонометрії за даними інвентаризації. Отже будемо використовувати це значення ($\lambda_i = 1,1 \cdot 10^{-4}$) для майбутніх розрахунків.

Автор прийшов до висновку, що для геодезичних мереж характерно послідовне з'єднання системи із виконанням умови (k із n). В якості прикладу для полігонометричних ходів 4-го класу, 1-го і 2-го розряду потрібно мати хоча б 2 надійні геодезичні пункти ($k=2$) старших класів від яких можна розвивати нову полігонометричну мережу. Відповідно до інструкції [12] максимальна кількість пунктів для полігонометрії 4-го класу, 1-го і 2-го розряду може бути $n=14$, найбільша кількість сторін $n + 1 = 15$. Для подальшого функціонування полігонометричного (або нівелірного) ходу необхідно щоб було щонайменше два надійних пункти від яких є можливість розвинути нову мережу, тому структурну функцію системи з'єднаних елементів знаходимо за схемою (k із n), тобто (2 із 14).

У дисертаційній роботі Ішутіної Г. С. [13] був виконаний аналіз впливу різних чинників на стабільність геодезичних пунктів, встановлені залежності для прогнозування осідань геодезичних марок залежно від їх віддаленості від джерела техногенного навантаження (місця ведення підземних гірничих робіт під час будівництва метрополітену), наведена методика розрахунку площіного техногенного навантаження, виділені три ступені впливу статичного техногенного навантаження (слабкий, середній, сильний) та розраховані відповідні коефіцієнти. Внаслідок техногенного впливу (як динамічного так і статичного) відбувається осідання та горизонтальні зміщення геодезичних пунктів, що розташовані в зоні впливу. Внаслідок зовнішнього навантаження від ваги великих висотних будівель і споруд відбувається осідання земної поверхні у вигляді чаши вдавлювання, формується прогин (мульда зсування, зрушення). Розташовані на техногенно-перевантажених ділянках, в зоні поширення мульди зсування, геодезичні пункти (грунтові знаки, стінні репери і марки) можуть піддатися осіданням.

Відповідно до виконаних досліджень [13] розроблені та запропоновані шкали (табл. 1, 2) для вибору коефіцієнтів впливу техногенного чинника.

Таблиця 1

Врахування впливу чинника статичного техногенного навантаження

Ступінь впливу	Слабкий	Середній	Сильний
Коефіцієнт розподілу площіного техногенного навантаження	$0 \leq K \leq 0,2$	$0,2 < K \leq 0,8$	$0,8 < K \leq 1,0$
Коефіцієнт $\pi_{ст}$	1	2	3

Таблиця 2

Врахування впливу чинника динамічного техногенного навантаження

Ступінь впливу	Слабкий	Середній	Сильний
Віддаленість від джерела динамічного техногенного навантаження, м	Понад 50	25-49	0-24
Коефіцієнт $\pi_{дт}$	1	2	3

Раніше виконані дослідження Павліва П.В. та Пневського П.І. показали, що зміна рівня ґрунтових вод може суттєво впливати на варіації сили тяжіння і відповідно на зміну відміток реперів, розташованих у зоні зміни рівня ґрунтових вод. Також вчені встановили залежність зміни перевищень у нівелірному ході від кількості атмосферних опадів у різні пори року. Підтверджено сезонність у характері накопичення похибок високоточного нівелювання (максимум – у серпні, а мінімум – у квітні). Встановлено, що зміна просторового положення геодезичних пунктів у великих містах викликано внаслідок зміни рівня ґрунтових вод.

Зниженню рівня ґрунтових вод також сприяє покриття проїжджої частини вулиць, тротуарів, площ і подвір'їв кам'яним або асфальтовим одягом у містах, що збільшує стік атмосферних опадів. Під час будівництва великих споруд, прокладенням ліній метро, як правило під час земляних робіт відкачують ґрунтові води, що призводить до пониження їх рівня і викликає осідання земної поверхні (з розташованими на ній геодезичними пунктами) внаслідок ущільнення ґрунту в осушеному шарі.

Дані для вибору коефіцієнтів згідно з [14], що враховують вплив природного чинника (геологічного, гідрогеологічного, рельєфу) наведені в таблицях 3, 4, 5.

Таблиця 3

Врахування впливу чинника ландшафту (рельєфу)

Ступінь впливу	Слабкий	Середній	Сильний
Ухил місцевості	0...0,035	0,036-0,07	понад 0,07
Коефіцієнт π_d	1	2	3

Таблиця 4

Врахування впливу геологічного чинника

Ступінь впливу	Слабкий	Середній	Сильний
Ґрунти	скельні	глинисті	піщані
Коефіцієнт π_g	1	2	3

Таблиця 5

Врахування впливу гідрогеологічного чинника

Ступінь впливу	Слабкий	Середній	Сильний
Рівень ґрунтових вод, м	понад 6	3-6	0 - 3
Коефіцієнт π_d	1	2	3

Потрібно розуміти що надійність однакових за конструкцією геодезичних пунктів буде залежати більшою мірою від місця їх розташування, тобто від багатьох факторів, що впливають на них, як природного так і техногенного походження. Наприклад, якщо пункт розташований на схилі з ухилом

місцевості понад 0,07 на слабких піщаних ґрунтах та віддалений від джерела техногенного навантаження на відстані 30 м, то його інтенсивність відмов обчислена за попередньою формулою (5) буде:

$$\lambda_p = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1 = 39,6 \cdot 10^{-4} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ п/год}$$

Якщо ж аналогічний геодезичний пункт буде розташований в подібних умовах, але на скельних ґрунтах та віддалений від джерела техногенного навантаження на відстані більше ніж 50 м, тоді будемо мати у 6 разів меншу інтенсивність відмов такого пункту:

$$\lambda_p = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ п/год}$$

Отже, коли ми здійснимо попередню оцінку надійності, то в результаті можна отримати кількісний показник надійності (імовірність безвідмовної роботи, середній час роботи до відмови, сумарну інтенсивність відмов), а також можна в подальшому оцінити наскільки те, що вийшло (в реальних умовах) відповідає технічному завданню (в ідеальних умовах).

Попередня оцінка надійності ГМ – це обчислення власної сумарної інтенсивності відмов з урахуванням режимів та умов експлуатації геодезичних пунктів і навколишнього оточення. Її необхідно проводити для того, щоб визначити потенціал геодезичного пункту, тобто чи є запас по надійності, а також розуміти коли саме в даних умовах може виникнути відмова (зміщення або знищення геодезичних пунктів), коли потрібно здійснити їх відновлення. Можна встановити слабкі місця технічної системи (геодезичної мережі) і побачити які елементи (геодезичні пункти) є ненадійними.

Висновки. У реальних умовах під час прогнозування інтенсивності відмов геодезичних мереж рекомендуємо враховувати ряд чинників, вплив яких зменшує надійність, але при цьому є можливість отримати реальні значення інтенсивності відмов геодезичних мереж.

Усі розглянуті чинники мають коефіцієнт впливу більше 1. Отже, якщо наприклад, інтенсивність відмов одного елементу (геодезичного пункту) в ідеальних умовах була б $\lambda_i = 1,1 \cdot 10^{-4}$ відмови за годину, то із врахуванням цих чинників в найгіршому випадку (якщо взяти максимальні значення коефіцієнтів) інтенсивність відмов може бути $\lambda_p = 267,3 \cdot 10^{-4}$, тобто інтенсивність відмов зростає в 243 рази, надійність при цьому зменшується.

Врахування цих чинників зменшує надійність, але це показує реальні значення інтенсивності відмов. Чим більше врахуємо чинників, тим точніше, достовірніше буде виконана попередня оцінка надійності. Цей підхід може бути використаний у різних галузях науки і техніки.

Попередня оцінка надійності здійснюється за допомогою різних стандартів, за якими обчислюють реальні значення інтенсивності відмов з

урахуванням різноманітних стресових ситуацій (стандартних, нестандартних), які виникають під впливом як природних, так і техногенних факторів.

Метод попередньої оцінки надійності з одного боку потребує певний час на виконання розрахунків, проте на цьому етапі він дозволяє виявити реальні значення інтенсивності відмов з урахуванням впливу різних чинників і отримати сумарне значення інтенсивності відмов. Це надає можливість розрахувати достовірне значення середнього часу роботи до відмови, ймовірність безвідмовної роботи, що має економічний ефект.

Список використаної літератури

1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_2860_94/3-1-0-1102
2. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Київ : Держстандарт України, 1994. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_2861_94/3-1-0-1103
3. ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. Київ : Держстандарт України, 1994. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_2862_94/3-1-0-1104
4. ДСТУ 2863-94 Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. Київ : Держстандарт України, 1994. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_2863_94/3-1-0-1105
5. ДСТУ 2864-94 Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. Київ : Держстандарт України, 1994. URL: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2864-94.pdf
6. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Київ : Держстандарт України, 1995. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_3004_95/3-1-0-156
7. Biehichev S.V., Ishutina H. S., Chumak L. A., Hoichuk A. P. Assessing the reliability of a surveying and geodetic network based on a Markov model. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2024, № 6. P.p. 21-27. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-6/021>
8. Гладілін, В.М., Мазницький, А.С., Сіроштан, Т.М., Гамалій, І П., Шудра, Н.С., Чуланов, П.О. (2023). Проблема надійності геодезичних мереж. *Просторовий розвиток*, (6). 276-292. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.276-292>
9. Odziemczyk, W. (2023). Comparison of selected reliability optimization methods in application to the second order design of geodetic network. *Journal of Applied Geodesy*, 18(2). URL: <https://doi.org/10.1515/jag-2023-0024>.

10. Prószyński W. Seeking realistic upper-bounds for internal reliability of systems with uncorrelated observations. *Geodesy and cartography*. Vol. 63, No 1, 2014, pp. 111-121.

11. Gilad Even-Tzur. Datum Definition and its Influence on the Reliability of Geodetic Networks. *Fachbeitrag*. 87-95. URL: https://geodaesie.info/images/zfv/131-jahrgang-2006/downloads/zfv_2006_2_Even-Tzur.pdf

12. Інструкція з топографічного знімання в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. ГКНТА-2.04-02-98. – К.: Укргеодезкартографія, 1999. – 156 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>

13. Ішутіна Г.С. Оцінювання надійності геодезичної мережі при геомоніторингу забудованих територій: дис. ... канд. техн. наук : 05.24.01. Київ, 2015. 187 с.

14. ДБН А.2.1-1-2008 Інженерні вишукування для будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074132130146550876?doc_type=2

Ph.D., associate professor **Hanna Ishutina**,
Ph.D., associate professor **Serhii Biehichev**,
Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro

PRELIMINARY RELIABILITY ASSESSMENT OF A GEODETIC NETWORK CONSIDERING THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS

Preliminary reliability assessment of various technical systems is carried out in many fields of science and technology. At the system design stage, it makes it possible to calculate predicted reliability indicators and to select the optimal technical system variant from among the proposed design options. Currently, there are standards that establish general requirements and provisions for calculating, at the design stage, indicators of reliability, durability, maintainability, and other related characteristics. On the basis of national standards, industry-specific regulatory and methodological documentation is developed, defining methods for calculating reliability for particular technical systems. At first glance, geodetic networks (GN) may be classified as static technical systems. However, this assumption is incorrect, since over time the spatial positions of geodetic points change under the influence of both anthropogenic and natural factors. Specialized standards for reliability assessment of telecommunications and radio-electronic systems (MIL-217, PRISM, FIDES, etc.) contain formulas for calculating failure rates under ideal conditions as well as under real operating conditions, taking into account the influence of various factors. However, the formulas presented in these standards are intended for radio-

electronic equipment, include a specific set of influencing factors, and therefore cannot be directly applied to geodetic networks. As a result, there is a need to develop appropriate criteria and to select suitable coefficients that allow for a correct assessment of the failure intensity of geodetic points. This approach, which accounts for the complex influence of multiple factors on the functioning of a geodetic network, requires significant time and financial resources for calculations. Nevertheless, at the GN design stage, this method makes it possible to determine realistic values of geodetic point failure intensity, obtain the overall failure intensity of the network, and, based on this, estimate the mean time to failure or the probability of failure-free operation.

Keywords: reliability pre-calculation; geodetic network; man-made and natural factors; failure intensity; probability of trouble-free operation; mean operating time to failure.

REFERENCES

1. DSTU 2862-94 Nadiinist tekhniky. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiinosti. Zahalni vymohy [Reliability of equipment. Terms and definitions]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53946 {in Ukrainian}
2. DSTU 2861-94 Nadiinist tekhniky. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhennia [Reliability of equipment. Reliability analysis. Basic provisions] {in Ukrainian}
3. DSTU 2862-94 Nadiinist tekhniky. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiinosti. Zahalni vymohy [Reliability of equipment. Methods for calculating reliability indicators. General requirements]. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_2862_94/3-1-0-1104 {in Ukrainian}.
4. DSTU 2863-94 Nadiinist tekhniky. Prohrama zabezpechennia nadiinosti. Zahalni vymohy [Reliability of equipment. Reliability program. General requirements]. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_2863_94/3-1-0-1105 {in Ukrainian}
5. DSTU 2864-94 Nadiinist tekhniky. Eksperymentalne otsiniuvannia ta kontrol nadiinosti. Osnovni polozhennia [Dependability of technics. Industrial product dependability reliability. Experimental determinating and complinating. Basic principles]. URL: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2864-94.pdf {in Ukrainian}.
6. DSTU 3004-95 Nadiinist tekhniky. Metody otsinky pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnymy danymy [Dependability of technics. Methods of estimation dependability by operating data]. URL: https://www.ksv.biz.ua/publ/dstu/dstu_3004_95/3-1-0-156 {in Ukrainian}.

7. Biehichev S.V., Ishutina H.S., Chumak L.A., Hoichuk A.P. Assessing the reliability of a surveying and geodetic network based on a Markov model. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2024, № 6. pp. 21-27. URL: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-6/021> {in English}
8. Gladilin, V.M., Maznytskyi, A.S., Siroshstan, T.M., Gamaliy, I.P., Shudra, N.S., Chulanov, P.O. (2023). Problema nadiinosti heodezychnykh merezh. [The problem of reliability of geodetic networks]. *Prostorovyi rozvytok* [Spatial development] 2023, no 6, pp. 276-292 URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.276-292> {in Ukrainian}.
9. Odziemczyk, W. (2023). Comparison of selected reliability optimization methods in application to the second order design of geodetic network. *Journal of Applied Geodesy*, 18(2). URL: <https://doi.org/10.1515/jag-2023-0024> . {in English}
10. Prószyński W. Seeking realistic upper-bounds for internal reliability of systems with uncorrelated observations. *Geodesy and cartography*. Vol. 63, No 1, 2014, pp. 111-121. {in English}
11. Gilad Even-Tzur. Datum Definition and its Influence on the Reliability of Geodetic Networks. *Fachbeitrag*. pp. 87-95. URL: https://geodaesie.info/images/zfv/131-jahrgang-2006/downloads/zfv_2006_2_Even-Tzur.pdf {in English}
12. Instructions for topographic surveying at scales 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500. GKNTA-2.04-02-98 [Instructions for topographic surveying at scales 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500. GKNTA-2.04-02-98] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text> {in Ukrainian}
13. Ishutina H.S. (2015) Assessment of the reliability of the geodetic network in geomonitoring of built-up areas: diss... Cand. Sc. (Tech.) : 05.24.01 [Otsiniuvannia nadiinosti heodezychnoi merezhi pry heomonitorynhu zabudovanykh terytorii] : dys... kand. tekhn. nauk : 05.24.01]. Kyiv, 2015, 187 p. {in Ukrainian}
14. DBN A.2.1-1-2008 Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva [Engineering surveys for construction] URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074132130146550876?doc_type=2 {in Ukrainian}.