

УДК 528.4

Богданов С.С.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ НА СТІЙКІСТЬ СИСТЕМИ ШТАТИВ-ТАХЕОМЕТР

*Розглядаються вертикальні переміщення системи «штатив-тахеометр» в умовах вібрацій при гармонічних, синхронних і рівних по амплітуді коливань системи в кожній точці штатива.*

**Постановка проблеми.** Під час проведення геодезичних вимірювань положення геодезичного приладу не повинно змінюватися в плані, по висоті і по азимуту. При установці штатива на досить твердій основі (асфальт, бетонне покриття або щільний ґрунт), який не схильний до зовнішніх впливів, можна вважати, що положення геодезичного приладу залишається незмінним у процесі вимірювань. Однак, якщо ситуація змінюється, основа на якій встановлений штатив, має схильність до вібраційного або ударного впливу.

Система «штатив-тахеометр» здійснює вимушені коливання, а стійкість геодезичного приладу при цьому змінюється, внаслідок чого в системі виникає кінематичне збудження. Рух основи вважається незалежним від руху штатива і приладу за умови, якщо маса землі значно перевищує масу системи. При виконанні досліджень спостерігається переміщення геодезичного приладу і його рухомих елементів, а також враховуються параметри вібрацій: частота, амплітуда коливань, віброприскорення і віброшвидкість. Тому, при розробці способів гасіння вібрацій геодезичного приладу, необхідно враховувати жорсткі характеристики елементів системи «штатив-тахеометр». У цьому матеріалі розглядається вертикальні переміщення системи при гармонічних коливаннях основи, синхронних і рівних по амплітуді в кожній точці спирання штатива.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вплив вібрацій на систему штатив-геодезичний прилад розглядається в роботах [1,2].

**Постановка завдання.** Метою роботи є описати аналіз впливу вібрацій на вертикальне переміщення системи «штатив-тахеометр» і окремо розглянути вертикальні переміщення в кожній точці спирання штатива.

**Виклад основного матеріалу.** При аналізі результатів вібраційних досліджень нівелірів, теодолітів і геодезичних штативів [2,4] можна визначити їх динамічні властивості і значення резонансних частот. Зокрема, було встановлено, що частота  $f_{\dot{a}o}$  власних коливань штатива змінюється від положення установки ніжок штатива. Визначені джерела похибок, які

виникають в умовах вібрацій при геодезичних вимірюваннях, а саме: вертикальні і горизонтальні переміщення візирного променя, переміщення бульбашки рівня, коливання компенсатора та ін. Тому виникає необхідність розглянути переміщення вертикальних елементів всієї системи «штатив-тахеометр».

Розглянемо систему «штатив-тахеометр» на (рис.1). Приймаємо, що

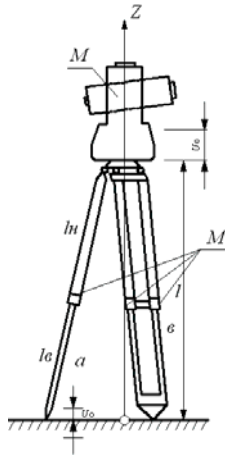


Рис.1. Система штатив-тахеометр

вертикальна компонента основи має вигляд:

$$u = u_0 \sin \theta t, \quad (1)$$

де  $u_0$  - амплітуда;  $\theta$  - кругова частота коливань;  $t$ -час.

Кругова частота  $\theta$  і циклічна частота  $f$  гармонічних коливань пов'язані співвідношенням [1]:

$$\theta = 2\pi f, \quad (2)$$

при цьому для кожної точки вектор зміщення  $u$  визначає  $\pi/2$  вектор прискорення  $w$  і на  $\pi$  вектор швидкості  $v$ . Амплітуда віброзміщення  $u_a$ , віброшвидкість  $v_a$ , віброприскорення  $w_a$  і період вібрацій  $\varepsilon_a$  отримаємо в такій залежності:

$$u_a \theta^2 = v_a \theta = w_a = \frac{1}{\theta} \varepsilon_a. \quad (3)$$

При цьому положення штатива не змінюється, якщо виконується умова віброприскорення:

$$w_a \leq g \quad (4)$$

де  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup> – сила тяжіння. Амплітуда коливання основи не повинна перевищувати:

$$u_o \approx \frac{g}{\theta^2} = \frac{g}{(2\pi f)^2}, \quad (5)$$

в іншому випадку виникають підстрибування штатива і дія ударів, що перешкоджають роботі приладу.

Якісний рівень роботи геодезичного приладу залежить від обмежених параметрів вібрацій. Наприклад, зменшуючи амплітуду, ставимо умову:

$$u_{\text{аіі}} = \frac{\eta g}{(2\pi f)^2}, \quad (6)$$

де  $\eta$ -коефіцієнт, який призначається відповідно до віброякості приладу.

Надалі приймаємо, що умова (4) і (6) задовольняє.

Вертикальну систему (рис.1) розглянемо на прикладі узагальненої моделі представленої масою  $M$ , яка в свою чергу закріплена на ніжках штатива (ніжки штатива уявляємо у вигляді стержня масою  $M'$ ) довжиною  $l$ . Система  $MM'$  працює за гармонічним законом (2). У центральній точці стержня з координатою  $0 \leq z \leq l$  амплітуду таких коливань отримаємо за формулою, наведеною в [1]:

$$u_z = u_o \frac{\cos \frac{\theta}{K}(l-z) - \lambda \beta \sin \frac{\theta}{K}(l-z)}{\cos \beta - \lambda \beta \sin \beta}, \quad (7)$$

де

$$\lambda = \frac{M}{M_c}, \quad \beta = \theta \sqrt{\frac{M_c}{K}}. \quad (8)$$

де:  $K$  - вертикальна жорсткість стержня;  $M_c$  - його маса.

$$K = \frac{3EF}{l}, \quad (9)$$

де:  $E$ -модуль пружності матеріалу;  $F$ -площа поперечного перерізу стержня.

Для розсувного штатива з постійним значенням площі поперечного перерізу  $F$  по всій довжині однієї опори сумарна вертикальна жорсткість має вигляд:

$$K_o = \frac{3EF_1}{l}. \quad (10)$$

У штативі Leica СТР101 невисувна частина опори завдовжки  $l_n$  і висувна частина довжиною  $l_v$  (рис.1) мають різні площі поперечного перерізу  $F_n$  і  $F_v$ , тому:

$$K_o = \frac{3}{\frac{l_n}{EF_n} + \frac{l_v}{EF_v}}. \quad (11)$$

Амплітуду вертикальних коливань маси  $M$ , закріпленої на голівці штатива, отримаємо з виразів (7) і (8) при  $z = l$  і  $K = K_{ш}$ :

$$u_i = \frac{u_o}{\cos \beta - \lambda \beta \sin \beta}. \quad (12)$$

Жорсткість штатива ряду Leica СТР101 за ДСТУ № 11897-66 характеризується значеннями  $K_o \geq 3 \times 10^6 \text{ } \dot{I} / \dot{i}^2$ , при цьому в формулах (7) і (8)  $\cos \beta = 1$ ,  $\sin \beta = \beta$  і для частот  $f_\theta \leq 100 \text{ } \dot{A} \ddot{o}$  із формули (2) отримаємо  $\theta \leq 628 \text{ } l / c$ :

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{\theta^2}{\omega_1^2}} \quad (13)$$

де:  $\omega_1$ -кругова частота власних вертикальних коливань маси  $M$ , закріпленої на стрижневих опорах  $M'$ , маса яких  $M_c$ :

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K_o}{\dot{I} + 0,33\dot{I}_{\bar{n}}}}. \quad (14)$$

Дійсні величини  $\mu$  відрізняються від розрахункових внаслідок кінцевої жорсткості основи, в тому числі бетонного. Для більш повного гасіння амплітуди  $u_m$  необхідно зменшити жорсткість системи у напрямку вертикальної осі, наприклад, зменшити відстань по висоті між центром тяжіння СШГП.

Загальна вертикальна жорсткість такої системи визначається за формулою:

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{K_o} + \frac{1}{3K_i}, \quad (15)$$

де:  $K_o$ ,  $K_i$  - жорсткість вертикальних елементів штатива і основи.

У цьому випадку за формулою (6) отримуємо наступний наближений вираз:

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{\theta^2(M + 0,33M_c)}{K_o} - \frac{\theta^2(M + M_c)}{K_i}}. \quad (16)$$

Якщо ґрунтова основа володіє певною деформацією, при якій  $K_o \geq K_o$ , тоді

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{\theta^2(M + M_c)}{K_o}}. \quad (17)$$

Коефіцієнт пружності жорсткості ґрунту  $K_o$  залежить від величини статичного тиску і площі його застосування. Значення  $K_o$  визначається емпірично. Їх наближені розрахункові величини можна знайти за методикою, викладеною в [2].

При загальній масі штатива, приладу 6-8 кг і площі спирання (однієї ніжкию)  $1\text{см}^2$  знаходимо  $K_i \approx (7 \div 12) \cdot 10^4 \text{ I} / i$ , тоді для оцінки амплітуди коливань приладу використовуємо наступну формулу, наведену в [3]:

$$u_m \approx \frac{u_o}{1 - \frac{\theta^2 (M + M_c)}{K_o} - \frac{\theta^2}{K_o} + Q\theta^2}, \quad (18)$$

де:  $Q$ -коефіцієнт затухання коливань, зумовлений недеформованим ґрунтом, визначається емпірично.

При зазначених величинах  $K_o$  наближені розрахункові частоти власних вертикальних коливань системи дорівнюють  $42 \approx 55$  Гц, отже можливі резонансні амплітуди коливань при частоті вібрацій 50 Гц. Але коливання залишаються кінцевими і це враховується коефіцієнтом  $Q \neq 0$ . Для зменшення амплітуди  $u_m$  на різних частотах потрібно зменшувати пружну жорсткість контактної зони штатива і основи. Відповідні рекомендації вимагають розробки.

**Висновки.** Приведений аналіз впливу вібрацій на стійкість системи «штатив-тахеометр». Представлено вертикальні переміщення системи при гармонічних коливаннях основи, синхронних і рівних по амплітуді в кожній точці спирання штатива.

### Література

1. Йориш Ю.И. Виброметрия. – М.:Машгиз, 1963, - 771 с.
2. Нестеренок Ю.И., Нестеренок В.Ф. Гашение вибраций нивелира с компенсатором. – Геодезия и картография, 1980, № 11. - С. 24-26.
3. Основания и фундаменты / Под ред. Н.А. Цитовича.-М.: Госстройиздат, 1960. -1040 с.
4. Кирьянов Ю.В. Разработка и исследование методов инженерно-геодезических работ в условиях вибрации. Автореф. дис. ... канд. техн. наук М., 1984 . – 22 с.

### Аннотация

Рассматриваются вертикальные перемещения системы «штатив-тахеометр» в условиях вибраций, при гармонических, синхронных и равных по амплитуде колебаний системы в каждой точке штатива.

### Annotation

Considered vertical movement of the "stand-Station" in a vibration under harmonic synchronous and equal to the amplitude of oscillation of the system at each point of the tripod.