

УДК 528.48

*В.С. Староверов;*  
*О.В. Адаменко, КНУБіА*

**МЕТОДИКА ПЕРЕРАХУНКУ РЕЗУЛЬТАТІВ  
ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРІЇ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
У СИСТЕМУ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТА**

**АНОТАЦІЯ**

У статті розглянута методика, яка дозволяє визначати зміщення вузлів будівельної конструкції при встановленні в проектне положення до виконання будівельних робіт за результатами геодезичних спостережень за геометрією будівельних конструкцій.

Ключові слова: система координат, будівельна конструкція, контрольні точки.

У відповідності з вимогами нормативних документів будівельні конструкції, що прибувають на будівельний майданчик, підлягають вхідному геодезичному контролю, під час якого визначаються геометричні розміри, прямолінійність та площинність будівельних конструкцій. Систематизація дійсних геометричних розмірів конструкцій на основі даних геодезичного контролю дозволяє виконати підбір оптимальної за розмірами будівельної конструкції для кожного прогону.

Метою статті є обґрунтування та постановка методики проведення перерахунку координат та зміщень вузлів будівельної конструкції, отриманих із геодезичного контролю, у систему координат об'єкта будівництва.

Найбільш впливовими факторами, що змінюють геометрію будівельної конструкції та самого об'єкта будівництва, є:

- похибки складання конструкції;

- зміна геометрії конструкції внаслідок зміни її температури.

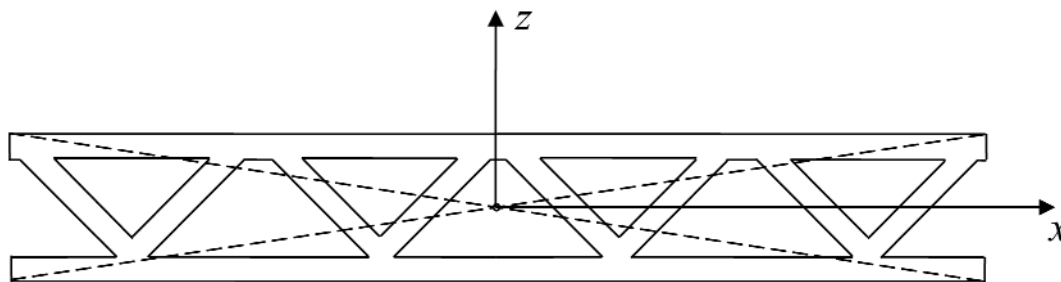
Похибка складання конструкції виникає внаслідок неточності виготовлення елементів конструкції та геодезичного контролю за її складанням, коли контролюється відповідність дійсних розмірів конструкції проектним та відповідність отриманих відхилень встановленим допускам на геометрію будівельної конструкції.

Складання (або укрупнення) будівельної конструкції зазвичай відбувається на стапелі в районі будівництва. Процес укрупнення підлягає геодезичному контролю. При цьому виникає питання вирішення оптимального завдання системи координат конструкції та врахування виявлених відхилень дійсних розмірів конструкції від номінальних у подальшому.

На нашу думку, кращим варіантом системи координат для контролю будівельної конструкції є така система, в якій центр збігався б з геометричним центром конструкції, вісь  $x$  – з головною віссю конструкції, вісь  $z$  – була спрямована вертикально,  $y$  – перпендикулярно до осі  $x$  так, щоб утворювати праву систему координат. Забезпечення збіжності центра координатної системи з центром будівельної конструкції виконується математично через постопрацювання вимірювань. При симетричному розподілі контрольних точок по тілу конструкції центр системи координат визначається як середнє із координат виміряних точок:

$$x'_0 = \frac{\sum_1^n x'_i}{n}, y'_0 = \frac{\sum_1^n y'_i}{n}, z'_0 = \frac{\sum_1^n z'_i}{n} \quad (1)$$

У випадку несиметричного розподілу контрольних точок центр системи координат визначається, як середнє арифметичне з координат крайніх точок конструкції, або як перетин її діагоналей (рис. 1).



**Рисунок 1.** Визначення центра системи координат при контролі за укрупненням будівельної конструкції

Така система координат дозволить найбільш об'єктивно контролювати відхилення всіх торців будівельної конструкції від проекту та прогнозувати якість та точність збіжності торців будівельних конструкцій у місці встановлення. Особливою перевагою такого завдання системи координат є можливість коригування допусків на укрупнення конструкцій з метою усунення або зменшення дефектів укрупнення попередньої будівельної конструкції, оскільки незначна зміна будь-якого кута торця будівельної конструкції майже не впливає на положення системи координат при контролі її геометрії.

Таким чином, постає задача перерахунку координат та зміщень вузлів будівельної конструкції від проектного положення із системи координат самої конструкції у систему координат об'єкта будівництва. Розв'язання цієї задачі пропонується на основі перетворення Гельмерта.

У загальному випадку перехід від однієї прямокутної просторової системи координат до іншої виконується за наступною формулою:

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + R \times \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{bmatrix} \times (1 + \Delta m), \quad (2)$$

де  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ , – елементи лінійного взаємного орієнтування систем координат, тобто лінійне зміщення центра координат будівельної конструкції в системі координат об'єкта будівництва (визначається за проектними даними);

$\Delta m$  – масштабний коефіцієнт, який характеризує різницю в масштабі двох систем координат,

$R$  – матриця обергання.

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_Z \cos \varepsilon_Y & \cos \varepsilon_Z \sin \varepsilon_Y \sin \varepsilon_X + \sin \varepsilon_Z \cos \varepsilon_X & \sin \varepsilon_Z \sin \varepsilon_X - \cos \varepsilon_Z \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_X \\ -\sin \varepsilon_Z \cos \varepsilon_Y & \cos \varepsilon_Z \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_X + \cos \varepsilon_Z \sin \varepsilon_X & \sin \varepsilon_Z \sin \varepsilon_Y \cos \varepsilon_X + \cos \varepsilon_Z \sin \varepsilon_X \\ \sin \varepsilon_Y & -\cos \varepsilon_Y \sin \varepsilon_X & \cos \varepsilon_Y \cos \varepsilon_X \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$  – кути повороту системи координат будівельної конструкції відносно системи координат об'єкта будівництва навколо осей  $X, Y, Z$ , відповідно. Кут повороту вважається додатнім, коли поворот відбувається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися по відповідній осі з початку координат у сторону позитивного напрямку координатної осі.

Оскільки вісь  $Z$  системи координат будівельної конструкції та вісь  $Z$  системи координат об'єкта будівництва спрямовані прямовисно і, відповідно, паралельні, то поворот системи координат при переході від однієї системи до іншої відбувається тільки відносно осі  $Z$ . Масштабний коефіцієнт  $m$  при переході від системи координат будівельної конструкції  $x, y, z$  до системи координат об'єкта будівництва  $X, Y, Z$  дорівнює 1, відповідно отримуємо:

$$X_i = \Delta X + x'_i \cos \varepsilon_z + y'_i \sin \varepsilon_z, \quad (4)$$

$$Y_i = \Delta Y - X'_i \sin \varepsilon_z + Y'_i \cos \varepsilon_z, \quad (5)$$

$$Z_i = \Delta Z + z'_i. \quad (6)$$

Зміщення вузлів будівельної конструкції будемо вважати відхиленням реальних координат точок конструкції від проектних:

$$\Delta'_{xi} = x_i - x_{in}, \quad (7)$$

$$\Delta'_{yi} = y_i - y_{in}, \quad (8)$$

$$\Delta'_{zi} = z_i - z_{in}. \quad (9)$$

Зміщення вузлів конструкції в системі координат

нат об'єкта будівництва визначаємо за наступними формулами:

$$\Delta''_{Xi} = X_i - X_{in}, \quad (10)$$

$$\Delta''_{Yi} = Y_i - Y_{in}, \quad (11)$$

$$\Delta''_{Zi} = Z_i - Z_{in}. \quad (12)$$

Замінивши складові формул (10)-(12) через формули (7)-(9), маємо

$$\begin{aligned} \Delta''_{Xi} &= \Delta x + x'_i \cos \varepsilon_z + y'_i \sin \varepsilon_z - \Delta x - \\ &- x'_{im} \cos \varepsilon_z - y'_{im} \sin \varepsilon_z = \\ &= x'_i \cos \varepsilon_z + y'_i \sin \varepsilon_z - x'_{im} \cos \varepsilon_z - \\ &- y'_{im} \sin \varepsilon_z, \quad (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta''_{Yi} &= \Delta y - x'_i \sin \varepsilon_z + y'_i \cos \varepsilon_z - \Delta y + \\ &+ x'_{im} \sin \varepsilon_z - y'_{im} \cos \varepsilon_z = \\ &= -x'_i \sin \varepsilon_z + y'_i \cos \varepsilon_z + x'_{im} \sin \varepsilon_z - \\ &- y'_{im} \cos \varepsilon_z, \quad (14) \end{aligned}$$

$$\Delta''_z = \Delta z + z'_i - \Delta z - z'_{im} = z'_i - z'_{im}. \quad (15)$$

Винесемо різницю координат за дужки та замінимо їх на зміщення вузлів конструкцій у системі координат будівельної конструкції (13)-(15):

$$\Delta''_{xi} = \Delta'_{xi} \cos \varepsilon_z + \Delta'_{yi} \sin \varepsilon_z, \quad (16)$$

$$\Delta''_{yi} = -\Delta'_{xi} \sin \varepsilon_z + \Delta'_{yi} \cos \varepsilon_z, \quad (17)$$

$$\Delta''_{zi} = \Delta'_{zi}. \quad (18)$$

Залежності (16)-(18) дозволяють визначити відхилення контрольних вузлів будівельної конструкції в системі координат об'єкта будівництва.

Важливим фактором, що впливає на розміри конструкцій об'єкта будівництва, є зміна температури самих конструкцій із часом.

Для забезпечення високої точності встановлення конструкцій безумовно необхідно враховувати дію зовнішніх факторів на елементи конструкції та саму конструкцію в цілому. Одним із найваж-

ливіших факторів, який пливає на положення контрольних точок конструкції, безперечно є температура навколишнього середовища.

Загалом вплив зміни температури конструкції на її лінійні розміри умовно можна розділити на дві групи:

– зміна лінійних розмірів конструкції внаслідок зміни її температури;

– зміна лінійних розмірів конструкції внаслідок її нерівномірного нагрівання (під дією сонця).

Розглянемо кожен із цих впливів детальніше.

За невеликої однорідної зміни температури металева конструкція, на яку не діють інші сили, лінійно та однорідно змінює свої розміри. Таким чином, відбувається однорідне збільшення або зменшення всіх геометричних розмірів металевої конструкції (рис. 2).

Відповідно до рис. 2 маємо:

$$\frac{x_2}{x_1} = \frac{y_2}{y_1} = \frac{z_2}{z_1} = k, \quad (19)$$

де  $x_1, y_1, z_1$  – розміри конструкції об'єкта будівництва в початкових умовах;

$x_2, y_2, z_2$  – розміри конструкції об'єкта будівництва в дійсних умовах;

$k$  – коефіцієнт зміни лінійних розмірів конструкції внаслідок зміни температури, який визначається за формулою:

$$k = 1 + \alpha \Delta_t, \quad (20)$$

де  $\Delta_t$  – величина, яка показує різницю дійсної температури металу та температури металу, прийнятої при початкових умовах:

$$\Delta_t = t_\partial - t_{n,y}. \quad (21)$$

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення металу при зміні температури. Для сталі марки Ст3 коефіцієнт лінійного розширення за температури 20°C дорівнює  $11,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ .

Для врахування впливу зміни температури на зміну лінійних розмірів конструкцій об'єкта будівництва введено поняття початкових умов. Ці умови представляють собою набір параметрів навколишнього середовища (температура, тиск тощо), за яку виконаний або має бути виконаний проект. Як початкові умови можна використовувати нормальні умови навколишнього середовища.

У геодезичній практиці під терміном "нормальні умови" розуміють такі умови навколишнього середовища, за яких поправка ррт у виміряні лінії дорівнює нулю ( $t=20^\circ\text{C}, P=1013,5 \text{ кПа}$ ).

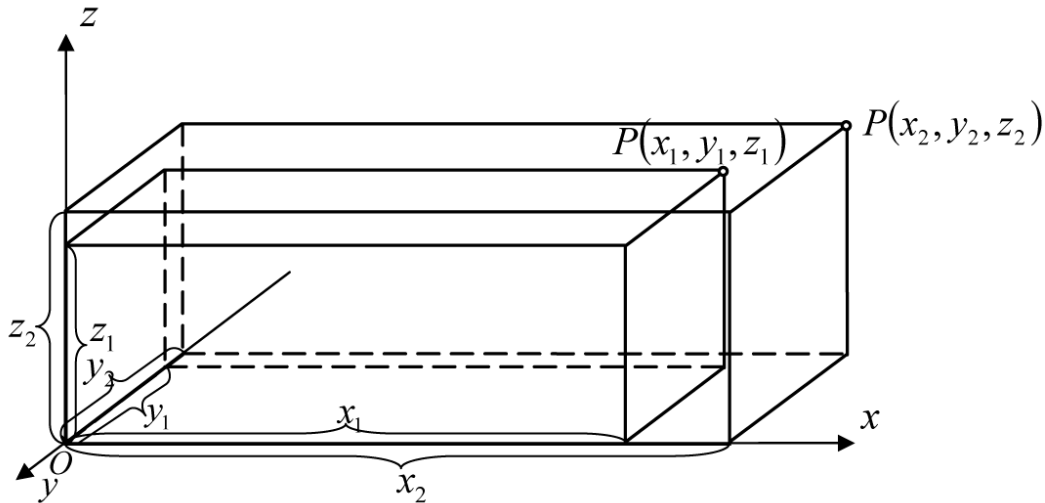


Рисунок 2. Зміна лінійних розмірів конструкції внаслідок зміни її температури

Таким чином, координати вузлів будівельної конструкції в системі координат об'єкта будівництва при початкових умовах будуть визначатися наступними залежностями:

$$x''_{n,y,i} = \Delta x + \frac{x'_i \cos \varepsilon_z + y'_i \sin \varepsilon_z}{k'} \quad (22)$$

$$y''_{n,y,i} = \Delta y - \frac{x'_i \sin \varepsilon_z + y'_i \cos \varepsilon_z}{k'} \quad (23)$$

$$z''_{n,y,i} = \Delta z + \frac{z'_i}{k'} \quad (24)$$

де  $k'$  – коефіцієнт зміни лінійних розмірів конструкції під час контрольних вимірювань її розмірів на стапелі.

При встановленні прогонних конструкцій у проектне положення постає задача перерахунку координат вузлів конструкції у дійсні параметри середовища:

$$x''_{n,y,i} = \Delta x + \frac{x'_i \cos \varepsilon_z + y'_i \sin \varepsilon_z}{k'} k'' \quad (25)$$

$$y''_{n,y,i} = \Delta y - \frac{x'_i \sin \varepsilon_z + y'_i \cos \varepsilon_z}{k'} k'' \quad (26)$$

$$z''_{n,y,i} = \Delta z + \frac{z'_i}{k'} k'' \quad (27)$$

де  $k''$  – коефіцієнт зміни лінійних розмірів конструкції під час її встановлення.

Для зміщень вузлів будівельної конструкції:

$$\Delta''_{xi} = \frac{\Delta'_i \cos \varepsilon_z + \Delta'_{yi} \sin \varepsilon_z}{k'} k'' \quad (28)$$

$$\Delta''_{yi} = \frac{\Delta'_i \sin \varepsilon_z + \Delta'_{xi} \cos \varepsilon_z}{k'} k'' \quad (29)$$

$$\Delta''_{zi} = \frac{\Delta'_{zi}}{k'} k'' \quad (30)$$

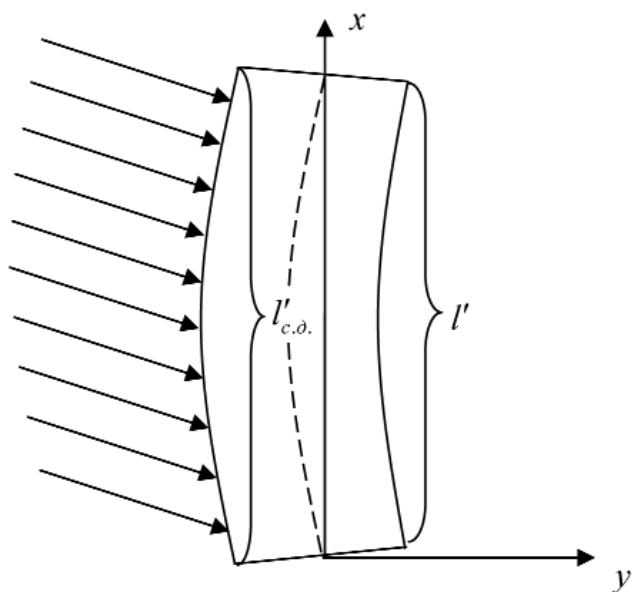
Типовим прикладом другого фактора є нагрівання поверхні будівельних конструкцій під дією сонячного випромінювання (рис. 3).

Під дією сонячного випромінювання відбувається розігрівання освітленої частини будівельної конструкції. Внаслідок цього частина конструкції збільшує свої розміри, що призводить до порушення геометрії будівельної конструкції.

Враховуючи розміри конструкцій, коефіцієнт лінійного розширення сталі та можливий перепад температур затемненої та освітленої частин конструкцій, вигином останньої під час контролю її геометрії можна знехтувати через малу величину. Значно більшою мірою сонячна радіація впливає на збільшення лінійних розмірів конструкції.

Відповідно до рис. 3 маємо:

$$l'_{c,d} = l'(1 + \alpha \Delta_t^c) \quad (31)$$



**Рисунок 3.** Схема деформації будівельної конструкції під дією сонячного випромінювання

де  $\Delta_t^c$  – різниця температур на сонячній та затемненій сторонах будівельної конструкції.

При застосуванні описаної вище методики спрощується врахування впливу сонячного випромінювання на координати контрольних вузлів будівельної конструкції. В цьому випадку маємо:

$$x'_i = \frac{x'_{c.d.i}}{\alpha \Delta_t^c}, \quad y'_i = \frac{y'_{c.d.i}}{\alpha \Delta_t^c}, \quad z'_i = \frac{z'_{c.d.i}}{\alpha \Delta_t^c}. \quad (32)$$

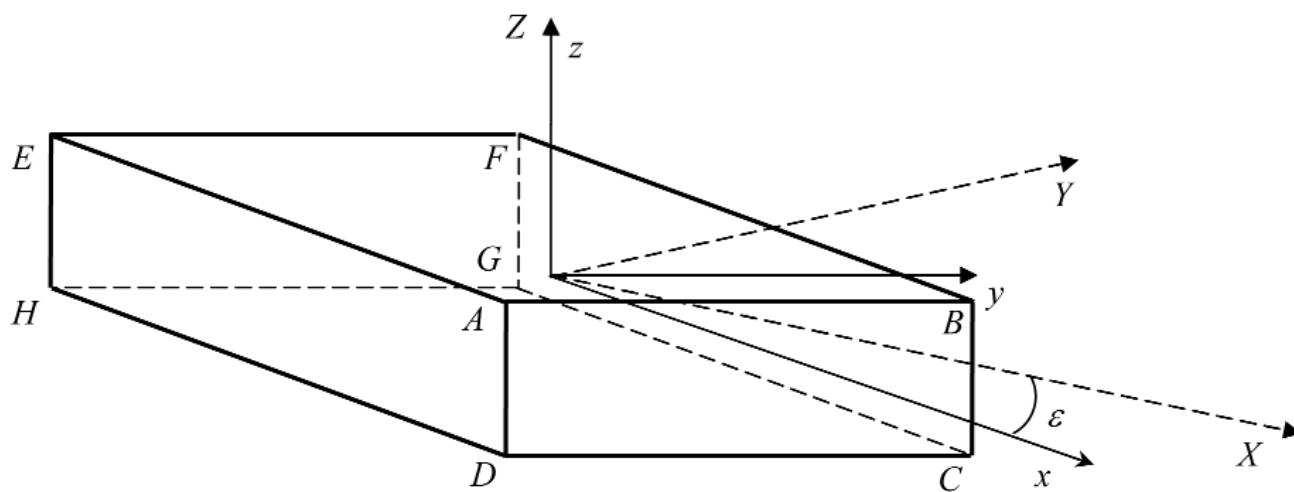
Для прикладу виконаємо геодезичний контроль геометрії балки (рис. 4). Для спрощення розрахунків будемо вважати, що визначалися планові координати кутів балки  $A, B, C, D, E, F, G, H$ . Було відмічено зростання координат  $\Delta x_i, \Delta y_i$  для кожної контрольної точки. Відповідно до проекту балка повинна бути встановлена у напрямку  $30^\circ$  до координатних осей об'єкта будівництва ( $\epsilon=30^\circ$ ). Контроль геометрії балки відбувався за температури  $t_1=27^\circ$ . Необхідно визначити майбутні відхилення балки в системі координат об'єкта будівництва за температури навколишнього середовища  $t_1=18^\circ$ .

Отримані відхилення вузлів балки:

$\Delta x_A = -10,0$  мм,  $\Delta y_A = -2,3$  мм,  $\Delta x_B = -3,2$  мм,  
 $\Delta y_B = -1,8$  мм,  $\Delta x_C = -3,8$  мм,  $\Delta y_C = -2,1$  мм,  
 $\Delta x_D = -6,4$  мм,  $\Delta y_D = -0,9$  мм,  $\Delta x_E = -5,1$  мм,  
 $\Delta y_E = +1,8$  мм,  $\Delta x_F = -4,5$  мм,  $\Delta y_F = +2,1$  мм,  
 $\Delta x_G = -4,4$  мм,  $\Delta y_G = +1,5$  мм,  $\Delta x_H = -4,8$  мм,  
 $\Delta y_H = +0,8$  мм.

Відповідно до (28), (29) отримуємо:

$\Delta' x_A = -9,8$  мм,  $\Delta' y_A = 3,0$  мм,  $\Delta' x_B = -3,7$  мм,  
 $\Delta' y_B = 0,1$  мм,  $\Delta' x_C = -4,3$  мм,  $\Delta' y_C = 0,1$  мм,  
 $\Delta' x_D = -6,0$  мм,  $\Delta' y_D = 2,4$  мм,  $\Delta' x_E = -3,5$  мм,  
 $\Delta' y_E = +4,1$  мм,  $\Delta' x_F = -2,8$  мм,  $\Delta' y_F = +4,1$  мм,  
 $\Delta' x_G = -3,1$  мм,  $\Delta' y_G = +3,5$  мм,  $\Delta' x_H = -3,7$  мм,  
 $\Delta' y_H = +3,1$  мм,



**Рисунок 4.** Проведення геодезичного контролю геометрії балки

**Висновки.** Таким чином, на кожному торці будівельної конструкції мають бути визначені як мінімум чотири контрольні точки. За відхиленням координат можна судити про деформації будівельної конструкції та проводити математичне вилучення впливу сонячного випромінювання на розміри будівельної конструкції.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Бернард Гофман-Велленгтон, Гельмут Мориц Физическая геодезия.: Перевод с английского Ю. М. Неймана, Л. С. Сугаитовой/ Под редакцией Ю.М. Неймана. — М.: Узд-во МИИГАиК, 2007, 426с., илл.*

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлена методика, которая позволяет определять смещения узлов строительной конструкции при установке ее в проектное положение до выполнения строительных работ по результатам геодезических наблюдений за геометрией строительной конструкции.

Ключевые слова: система координат, строительная конструкция, контрольные точки.

#### ANNOTATION

This article highlights the technique that allows determining the displacement of node points in the process of its installation into the project position before the start of building and construction operations according to the results of the geodetic control measurements based on the configuration of the building structure.

Keywords: system of coordinates, a building design, control points.

УДК 389.531.24

*А.Н. Самойленко; Ю.Ю. Глушко;  
Б. П. Кукарека, ДП "Укрметртестстандарт"*

### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЕРКИ НИВЕЛИРОВ И ТЕОДОЛИТОВ АУПНТ

#### АННОТАЦИЯ

В статье кратко описана конструкция и технические возможности автоколлимационной установки для поверки нивелиров и теодолитов АУПНТ после проведенной модернизации, а также ее метрологические характеристики.

Ключевые слова: автоколлимационная установка, поверка нивелиров и теодолитов.

Количество геодезических приборов, которые необходимо поверять, возрастает с каждым годом. Для удовлетворения необходимости в быстрой и качественной поверке геодезических приборов в ДП "Укрметртестстандарт" была разработана и внедрена в производство автоколлимационная установка для поверки нивелиров и теодолитов (далее — АУПНТ).

В настоящее время АУПНТ успешно эксплуатируется в 28 организациях Украины, 61 организации России, 12 организациях Беларуси, 14 организациях Казахстана и по одной в организациях в Азербайджана, Литвы, Узбекистана и Туркменистана. Среди пользователей АУПНТ не только лаборатории территориальных метрологических органов названных стран, но и предприятия аэрокосмического комплекса и геодезические предприятия.

АУПНТ предназначена для воспроизведения горизонтальной и вертикальной автоколлимационных визирных осей, плоского развернутого угла 180° в горизонтальной и вертикальной плоскостях световыми автоколлимационными визирными осями.

АУПНТ применяется в лабораториях государственного надзора за средствами измерительной техники, на предприятиях-изготовителях геодезической техники, ремонтных организациях и калибровочных лабораториях для определения и (или) контроля метрологических характеристик