

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ" ЧАЕС

П. І. Баран, В. Г. Сушко, В. Я. Чорнокінь

*ДНВП "Укрінжгеодезія", Київ*

Наведено теоретичні дослідження похибок формоутворення металевої кругової арки нового безпечного конфайнмента над об'єктом "Укриття" ЧАЕС, дослідження та методи врахування температурної деформації арки, аналіз похибок виготовлення та збирання блоків і секцій арки в єдину конструкцію, розрахунок допустимих похибок геодезичного контролю збирання арки, необхідна точність побудови головної планової та висотної геодезичної мережі, пропозиції з організації спостережень за деформаціями споруди.

### 1. Вступ

Досвід експлуатації об'єкта "Укриття" ЧАЕС упродовж 20 років підтвердив нагальну потребу в будівництві над ним нового "Укриття-2" для зменшення викидів радіоактивних речовин у зовнішнє середовище та перетворення його на екологічно безпечну систему.

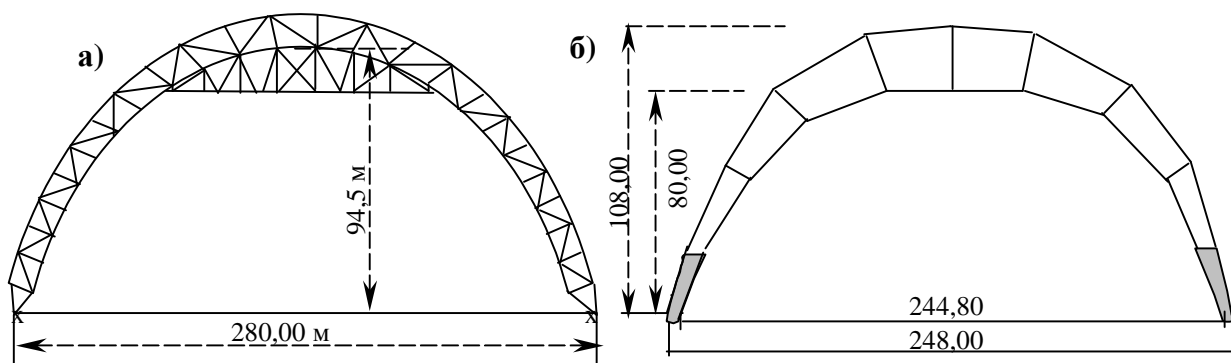


Рис. 1. Схеми конструкцій арок НБК:  
а - кругова арка; б - ферменно-аркова.

Для будівництва нового безпечного конфайнмента (НБК) найефективнішою виявилася конструкція металевої кругової арки як плоскої системи із змінним поперечним перерізом (відношення висоти середнього перерізу до довжини прогону становить 1/12 [1]). Для детального опрацювання проекту відібрано два варіанти конструктивного оформлення арки: пояси із труб діаметром близько 300 - 900 мм і товщиною стінки 15 - 35 мм та альтернативний до нього (у зв'язку з неможливістю обстеження корозії внутрішніх стінок труб) варіант ферменно-аркової конструкції, який ще перебуває в стадії досліджень (рис. 1). Арка проектується на 100 років експлуатації з мінімальним обслуговуванням.

При прольоті арки  $B = 280$  м та висоті  $h_m = 94,5$  м радіус оболонки становить близько  $R = 150$  м. Висота поперечного перерізу арки змінюватиметься від 3 м у її нижній частині до 12 м - у верхній, тобто середня висота перерізу арки буде близько 8 м, відстань між поясами арки в осях становить 12 м. За своїми значними розмірами та масою (до 20 тис. т), способом зведення (збоку від об'єкта "Укриття") та наступним насунанням на штатне місце арка стає в ряд визначних споруд світу, яка проектується й будується за участю міжнародних проектних, будівельних та монтажних організацій.

Будівельно-механічними розрахунками встановлено високу деформативність арки, особливо вертикальної складової (у замку): від власної маси - 42 мм, маси крану - 50 мм, екстремального вітрового навантаження - 45 мм (при горизонтальній складовій до 60 мм),

снігового покриву – 17 мм, зміни температури – 99 мм взимку та 77 мм влітку, тобто сумарне вертикальне зміщення може сягнути 176 мм.

Деформативність арки може викликати непрямолінійність та негоризонтальність їздових колій мостового крана, перекося різного знаку в сусідніх поперечних перерізах арки, які можуть впливати на точність роботи як самого крана, так і пов'язаного з ним робото-технічного обладнання. Тому проблема врахування деформативності арки, особливо температурної деформації в процесі виготовлення її окремих сегментів, збирання в єдину конструкцію й насування на штатне місце, потребує ретельного дослідження. Для якісного монтажу арки необхідно підготувати монтажні стенди з точним розмічуванням контрольних баз, захистом конструкцій від сторонніх джерел нагрівання, непередбачених проектом навантажень тощо.

Таким чином, значні розміри арки, її висока деформативність та особливі умови будівництва НБК вимагають організації належного геодезичного контролю виконання будівельно-монтажних робіт на всіх етапах зведення об'єкта, починаючи від збирання окремих монтажних блоків арки, їх з'єднання в єдину конструкцію, насування на штатне місце і закінчуючи спостереженнями за деформаціями арки як у процесі її зведення, так й експлуатації.

Нижче розглядаються основні підходи до аналізу точності виготовлення та зведення арки, методи геодезичного контролю геометричних параметрів арки, організації геодезичних робіт на всіх етапах будівництва об'єкта.

## 2. Визначення основних геометричних параметрів і дослідження точності формоутворення арки

На рис. 2 показано геометричну схему кругової арки з центром  $O$  і радіусом  $R$  (діаметр кола  $A_oB_o = 2R$ ). Основа арки представлена пунктами  $A$  і  $B$ , які розташовані на рівні підлогах об'єкта “Укриття”. Середня точка (замок) арки  $C$  розміщена відносно основи арки на висоті  $h_m$ , яка визначає одночасно й висоту основи арки  $(R - h_m)$  над її центром.

Під час проектування арок задають, як правило, базу  $B$  опирання арки на фундамент та її висоту  $h_m$  відносно верхнього обрізу фундаменту. Тоді радіус кругової арки (рис. 2) визначається із залежності

$$R^2 = (R - h_m)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2, \quad (1)$$

яка перетворюється в квадратне рівняння

$$h_m^2 - 2Rh_m + \frac{B^2}{4} = 0, \quad (2)$$

звідки отримуємо

$$R = \frac{B^2}{8h_m} + \frac{h_m}{2}. \quad (3)$$

Для визначення довжини  $L$  криволінійної арки обчислюється центральний кут

$$\omega = 2 \arccos\left(1 - \frac{h_m}{R}\right), \quad (4)$$

а потім довжина

$$L = \frac{\pi R \omega}{180^\circ} = \frac{R}{M}, \quad (5)$$

де  $\pi = 3,1415926$ ,  $M = \frac{180^\circ}{\pi \omega}$  - множник.

Для розрахунку параметрів арки, з метою перенесення в натуру її основних точок та геодезичного контролю формоутворення, необхідно визначити дугу  $A_oA = B_oB = k_o$ , яка визначає висотне положення основи арки відносно центра  $O$  з позначкою

$$H_o = H_n - (R - h_m), \tag{6}$$

де  $H_n$  - позначка основи арки, яка задається проектом.

Для розрахунку точності зведення кругової арки візьмемо рівняння циліндра, орієнтованого своєю віссю вздовж осі ординат геодезичної мережі об'єкта "Укриття" відповідно з генпланом будівництва, а саме:

$$x^2 + z^2 = R^2, \tag{7}$$

де  $x, z$  - умовні абсциса й апліката представницької точки  $P$  арки відносно центра  $O_o$  перерізу циліндра.

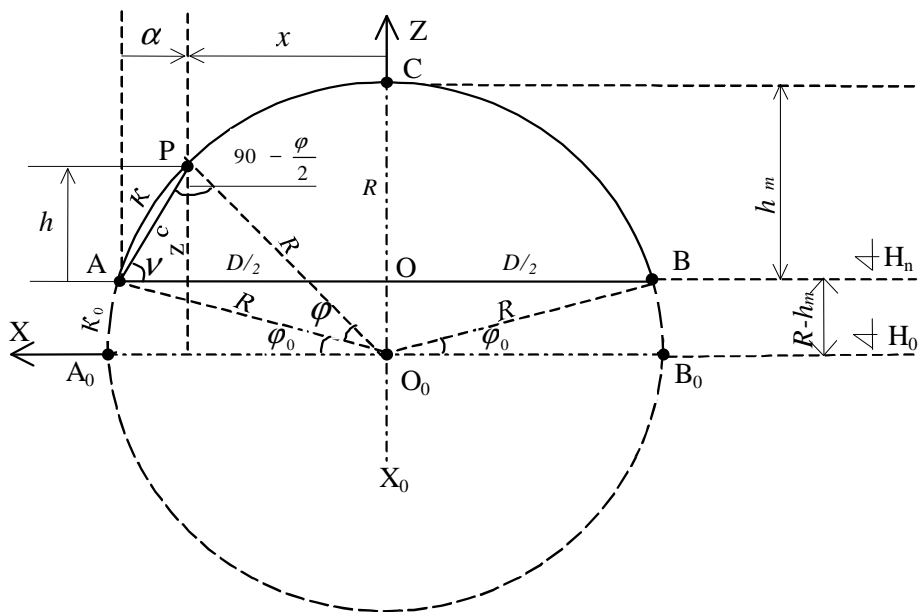


Рис. 2. Геометричні параметри кругової арки.

Похибка формоутворення оболонки арки представляється зміною її радіуса під впливом похибок перенесення в натуру абсцис і аплікат. Зв'язок між ними, згідно з формулою (7), виражається математичною залежністю

$$\left(\frac{x}{R} m_x\right)^2 + \left(\frac{z}{R} m_z\right)^2 = m_R^2 \quad \text{або} \quad (\cos v m_x)^2 + (\sin v m_z)^2 = m_R^2, \tag{8}$$

де  $m_x, m_z, m_R$  - похибки абсцис, аплікату і радіуса відповідно;  $v = \varphi_o + \varphi$  - кут нахилу радіуса-вектора представницької точки  $P$  до горизонту.

Центральні координати  $x$  і  $z$  точки  $P$  арки представляються залежностями

$$x = R \cos(\varphi_o + \varphi); z = R \sin(\varphi_o + \varphi); \varphi_o = \arcsin\left(1 - \frac{h_m}{R}\right); \varphi = \frac{k \cdot 180^\circ}{\pi R}, \tag{9}$$

де  $\varphi$  - центральний кут в точці  $O_o$ , який стягується дугою  $k$  арки - віддаленням точки  $P$  від основи арки (точок  $A$  або  $B$  установки її на фундаменті, в які доцільно й перенести початок відліку координат точок обох віток арки).

Тому тепер, якщо  $a$  і  $h$  - прямокутні координати точки Р відносно точки А, запишемо

$$x = R \cos \varphi_o - a = \frac{B}{2} - a; \quad z = R - h_m + h, \quad (10)$$

при цьому база В визначається за формулою

$$B = 2\sqrt{(2R - h_m)h_m}. \quad (11)$$

Величини  $a$  і  $h$  зручно обчислювати за допомогою хорди  $c$ , що стягує дугу  $k$  з центральним кутом  $\varphi$ , тобто

$$a = 2R \sin \frac{\varphi}{2} \sin(\varphi_o + \frac{\varphi}{2}); \quad h = 2R \sin \frac{\varphi}{2} \cos(\varphi_o + \frac{\varphi}{2}). \quad (12)$$

Тоді формули (10) приймуть вигляд

$$x = \frac{B}{2} - 2R \sin \frac{\varphi}{2} \sin(\varphi_o + \frac{\varphi}{2}); \quad z = R - h_m + 2R \sin \frac{\varphi}{2} \cos(\varphi_o + \frac{\varphi}{2}). \quad (13)$$

Для отримання похибок  $m_x$  і  $m_z$ , що входять у формулу (8), продиференціюємо залежності (13) за змінними  $B$  і  $\varphi$  (із врахуванням залежності кута  $\varphi$  від довжини елемента арки, тобто  $d\varphi = dk/R$ ) і замінимо диференціали середніми квадратичними похибками. Тоді одержимо похибку радіуса арки

$$m_R = \sqrt{(\cos \varphi_o - \frac{a}{R})^2 \frac{m_B^2}{4} + \left[ \left( \cos \varphi_o - \frac{a}{R} \right) \sin(\varphi_o + \varphi) + \left( \sin \varphi_o - \frac{h}{R} \right) \cos(\varphi_o + \varphi) \right]^2 m_k^2}, \quad (14)$$

де  $m_B/\sqrt{2}$  - похибка розмічування шарніра арки на фундаменті,  $m_k$  - похибка виготовлення арки. Останній член формули (14) враховує кореляційний зв'язок між похибками  $x$  і  $z$  згідно із залежностями (13) при максимальному коефіцієнті кореляції між ними  $r = -1$ . Ця формула є загальною і може застосовуватися для будь-якого розташування точок кругової арки.

Для окремих випадків локального розташування точок (низ і верх арки) формула (14) спрощується. Так, наприклад, для низу арки, коли  $a = 0$ ;  $h = 0$  і  $\varphi = 0$ , похибка

$$m_R = \cos \varphi_o \sqrt{\left( \frac{m_B}{2} \right)^2 + (2 \sin \varphi_o m_k)^2}. \quad (15)$$

Якщо  $\varphi_o = 22^\circ$  (рівень фундаменту арки),  $m_B = m_k = 5$  мм, то похибка  $m_R = 0,927 \sqrt{6,25 + 12,06} = 4,0$  мм, при цьому вплив похибки розміру арки більший від похибки розмічування осі фундаменту. Для вершини арки, коли  $\varphi_o + \varphi = 90^\circ$ ,  $a = B/2$  і  $h = h_m$ , похибка  $m_R = 0$ , що не суперечить геометрії арки, оскільки в даному разі похибки бази та довжини арки направлені горизонтально і на величину радіуса не впливають.

Для розрахунку похибок формоутворення для інших точок арки, включаючи і середину її віток, доцільно користуватися формулою (14), беручи до уваги те, що похибка  $m_B$  є похибкою вихідних даних, яка в практиці завжди менша від похибок основних робочих процесів, зокрема похибок виготовлення блоків арки й геодезичного контролю їх установки в проектне положення. Тому формулу (14) можна записати як

$$m_R = F \cdot m_k; \quad F = \left( \cos \varphi_o - \frac{a}{R} \right) \sin(\varphi_o + \varphi) + \left( \sin \varphi_o - \frac{h}{R} \right) \cos(\varphi_o + \varphi). \quad (16)$$

де  $F$  - геометричний фактор арки.

При заданих геометричних параметрах арки (база  $B = 280$  м, висота  $h_m = 94,5$  м, радіус  $R \approx 150$  м) похибка її формоутворення (зміни радіуса) становитиме: на фундаменті  $m_R = 0.70m_k$ , в середній точці  $m_R = 0.35m_k$  і у вершині  $m_R = 0$ .

Таким чином, найбільшу похибку форми арки слід очікувати в нижній половині вітки арки, тобто там, де відбувається зміна знаку її згинальних моментів.

### 3. Температурна деформація арки

Для визначення температурної деформації арки взято математичні залежності між її основними геометричними параметрами: базою (хордою)  $B$ , довжиною кругової арки  $L$ , висотою  $h_m$  і похідним параметром – радіусом  $R$ . На основі рівняння (2) із врахуванням (5) одержимо залежність

$$h_m = \frac{L}{M} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{BM}{2L} \right)^2} \right\}. \quad (17)$$

При зміні температури на  $45^\circ \text{C}$  довжина арки зміниться на величину до 50 мм, а вираз у фігурних дужках, який становить 0,26359, зміниться на 14 одиниць п'ятого знаку. Тому формулу (18) з достатньою для аналізу точністю при  $M = 2,374988$  можна записати як

$$h_m = 0,263587L. \quad (18)$$

Зауважимо, що ця залежність найпростіша й точна, оскільки інші підходи до визначення висоти арки, наприклад через радіус, будуть неточними, тому що при зміні висотного положення замка арки під впливом температури прогін арки не змінюється й втрачається поняття її радіуса.

З рівняння (18) легко визначити зміну  $\Delta h_m$  висоти арки залежно від зміни  $\Delta L$  її довжини, тобто

$$\Delta h_m \approx 0.263\Delta L. \quad (19)$$

Зміна довжини арки

$$\Delta L = aL\Delta t, \quad (20)$$

де  $a$ - коефіцієнт температурного розширення матеріалу арки (для сталі  $a = 12 \cdot 10^{-6}$ );  $\Delta t$  - зміна температури. Тому остаточно запишемо

$$(\Delta h_m)_t \approx 0.263aL\Delta t. \quad (21)$$

При  $\Delta t = 1^\circ \text{C}$  величина  $\Delta h_m = 1,131$  мм/°C. Інші зміни  $\Delta h_m$  наведено в таблиці.

**Зміни висоти арки  $(\Delta h_m)_t$  для змін температури  $\Delta t (L \approx 360\text{м})$**

$\Delta t, ^\circ \text{C}$	1	5	10	20	30	40	50
$\Delta h_t, \text{мм}$	1,1	5,6	11,3	22,6	33,9	45,2	56,6

Зауважимо, що всі ці зміни відбуватимуться на гребені арки, тобто в найвищому її місці. На рівні  $h_i = 80$  м, де ймовірно будуть розташовані колії мостового крана, указані деформаційні зміщення зменшаться в 1,2 рази, тобто при зміні температури на  $5^\circ \text{C}$  температурне зміщення становитиме близько 10 мм. Що стосується температурної деформації прогону арки, то на стенді в процесі формування її конструкції при різниці сезонних температур  $70^\circ \text{C}$  одностороннє лінійне розширення стенду та арки може становити до 250 мм, що вимагає належного конструктивного оформлення самого стенду. Тому в процесі розмічувальних та монтажних робіт необхідно враховувати зміни температури й усі вимірювання приводити до однієї температури, наприклад до  $15^\circ \text{C}$ . А це означає, що для спрощення процесу врахування температурних деформацій усі розмічувальні маяки на стендах повинні бути винесеними в натуру при температурі  $15^\circ \text{C}$  (або приведені до неї) і розмічені відповідними знаками.

#### 4. Вплив похибок розмічування осей фундаментів на прогин арки

Ступінь деформативності арки залежить і від точності взаємного розташування її опор. На рис.3а наведено схему зміни висоти арки в замку як функції похибки  $\frac{m_B}{\sqrt{2}}$  розмічування вузла опираючої арки на фундамент. Для дослідження функціонального зв'язку між похибками  $\frac{m_B}{\sqrt{2}}$  і  $m_{h_m}$  взято формулу (1), з якої одержимо

$$m_B \leq \frac{4(R - h_m)}{B} (m_{h_m})_B, \quad (22)$$

де  $(m_{h_m})_B$  - похибка висотного положення ключа арки на фундамент, обумовлена неточністю розмічування осі вузла опираючої арки на фундамент, граничну величину якої доцільно брати як допуск на з'єднання суміжних арок, тобто  $\Delta_h = \frac{\Delta_c}{2} = \frac{20}{2} = 10$  мм. При  $R = 150$ ;  $h_m = 95$  м і

$h_{m_m} = \frac{\Delta_h}{2} = 5$  мм похибка взаємного положення двох осей  $m_b = 4$  мм, а однієї осі 2,8 мм.

Складовими цієї похибки будуть похибки розмічування початкової та кінцевої точок осі ( $D \approx 170$  м), створної точки в найслабшому її місці та вимірювання відхилення конструкції опорного вузла арки від створу. Перші три похибки досить брати величиною 1,5 мм, а останню – 1 мм.

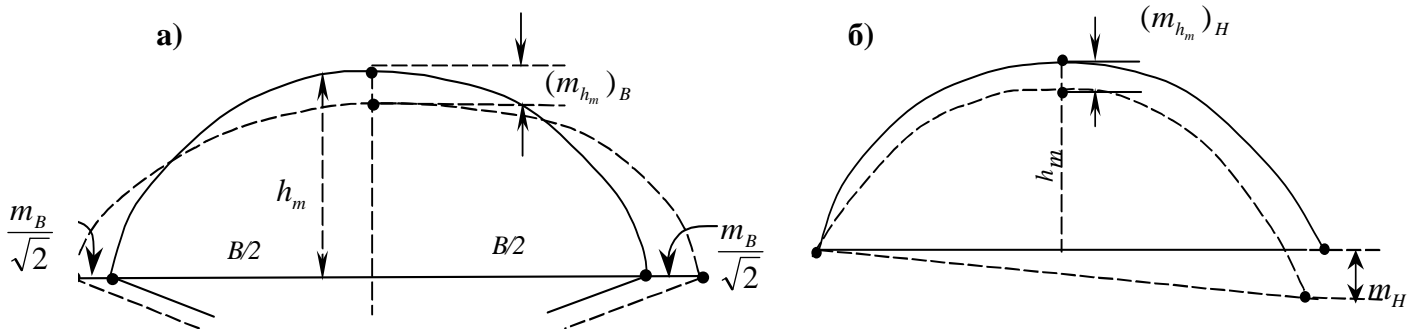


Рис. 3. Вплив похибок розмічування фундаментів на положення арки:  
а - планове; б - висотне.

Вплив похибки розмічування висотного положення опори арки на фундаменті на положення замка арки показано на рис. 3б, звідки можна записати  $m_H \leq 2 m_{h_m}$ , а з врахуванням того, що аналогічна похибка може бути допущена на протилежній осі, як у бік збільшення, так і зменшення впливу цих похибок на висотне положення ключа арки, яке змінюється й під впливом похибок розмічування осей арки в плані, остаточно прийемо

$$M_H \leq (m_{h_m})_H. \quad (23)$$

Отже, висотне положення опорних вузлів арок, яке традиційно визначається з похибкою до 5 мм, практично не впливатиме на висотне положення замка арки, що зумовлено значною довжиною бази арки відносно її висоти. Але при цьому залишається істотним вплив розмічування планового положення осей опорних вузлів, що вимагає застосування електронного тахеометра типу TC 1800 Leica.

## 5. Концептуальний аналіз можливих технологічних похибок виготовлення арки

Задачу якісного збирання блоків арки в єдину систему доцільно звести до контролю параметрів блока, довжина якого в індустріальному виробництві може бути прийнята від 12 до 36 м, при цьому останній розмір рекомендується для ферменно-аркової конструкції. Якщо взяти  $m_{k_1}$  як похибку довжини одного блока, то похибка довжини збірної арки буде

$$m_k = m_{k_1} \sqrt{N_\sigma}, \quad (24)$$

де  $N_\sigma$  – кількість блоків арки ( від 10 до 30 ).

Стрілка прогину таких монтажних блоків становитиме від 0,12 до 0,60 м.

Як відомо, точність виготовлення будівельних конструкцій, у даному випадку блоків арки, регламентується чинними державними стандартами. Згідно з ГОСТ 21779-81 [2], при виготовленні конструкції довжиною 12 м за 2-м класом точності, допуск (гранична похибка) довжини становить 4 мм або 1,3 мм як середня квадратична похибка цієї довжини при ймовірності  $P = 0,997$ . Відносна середня квадратична похибка довжини одного блока становить  $1/9200$ . Похибка  $m_k$  довжини вітки арки від опори до ключа при  $N_\sigma = 15$  становитиме  $1,3\sqrt{15} = 5$  мм (відносна похибка  $1/36000$  при довжині вітки 180 м). Гранична похибка цієї довжини  $1/12000$  (абсолютна 15 мм). Якщо така ж похибка буде допущена при виготовленні другої вітки арки, то гранична похибка довжини всієї арки може становити  $\pm 21,2$  мм. Унаслідок цього висота арки (стрілка прогину), згідно з формулою (19), може зрости або зменшитися на величину  $\pm 5,6$  мм. Навіть при виникненні подібної похибки в сусідньому блоці арки неспіввісність отворів для болтового з'єднання блоків не перевищуватиме 8 мм, що дуже мало порівняно із впливом температурної деформації (див. таблицю).

При застосуванні ферменно-аркової конструкції конфайнмента для найбільшого блока довжиною близько 48 м допуск на відхилення його довжини за 2-м класом точності становитиме 8 мм, допуск половини збірної арки із п'ятьох блоків – 17,9 мм, усієї арки – 25,3 мм, а гранична похибка неспіввісності болтових з'єднань сусідніх повних аркових блоків сягатиме 35,8 мм, що може ускладнити або унеможливити виконання монтажних робіт без додаткових припасувальних операцій, наприклад, розсвердлювання вузлів болтових з'єднань. Якщо ж такі великі блоки виготовляти за 1-м класом точності, то первинний допуск з 8 мм знижується до 5 мм, а останній, тобто гранична похибка нестикування поясів двох блоків арки, – до 22,4 мм.

Таким чином, навіть застосування найвищих стандартів до виготовлення окремих блоків арки та збирання їх у єдину конструкцію не сприятиме високому рівню індустріалізації будівництва конфайнмента без відповідного метрологічного та інженерно-геодезичного забезпечення монтажного циклу в усій його багатогранності, у даному випадку без геодезичного контролю геометричних параметрів як окремих блоків, так і їх збирання в єдину конструкцію із заданими проектом формою та розмірами. При цьому максимальну увагу потрібно звертати на врахування різниці температур монтажного стенда і готових блоків арки при їх установлюванні на штатне місце. Особлива обережність необхідна при застосуванні матеріалів з різними коефіцієнтами лінійного розширення (конструкційна та нержавіюча сталь. Не слід відкидати і варіанти застосування компенсаційних блоків, виготовлених спеціально за даними виконавчого геодезичного знімання вузлів пристикування компенсаційного блока.

## 6. Принципи організації геодезичного контролю розмірів і форми арки в процесі виготовлення та збирання конструкцій

Для забезпечення якісного виготовлення та збирання елементів конструкцій арки доцільно створити окремі стенди: № 1 - для заготовки елементів, № 2 - для формування панелей, № 3 - для збирання просторових блоків арки, готових до установки на штатне місце .

Найпростішими є стенди № 1 - стелажі для заготовки елементів, на яких відкладаються відповідні базові довжини і формуються елементи проектної довжини. Дещо складнішими будуть стенди № 2 для монтажу елементів у блоки панелей (рам), на яких виконується геодезична розмітка осей панелей, торцевих площин, стрілок прогину тощо. Стенд № 3 необхідний для складання із панелей просторових блоків арки, на якому із поясних панелей, розкосів та підкосів формуються просторові блоки арок.

Стенд № 1 – загальновідомий, тому розглянемо складніші стенди № 2 і № 3, які мають вузько спеціалізоване призначення.

Стенд № 2 - горизонтальна платформа металевого стола відповідного розміру, яка включає систему залізобетонних блоків, горизонтальних балок та прогонів, що покриваються зверху жорстким металевим листом. На цій металевій плиті робиться розмітка осей та контрольних точок поясів панелей арки, які закріплюються керном і фарбою і служать маяками для укладання елементів конструкцій панелі (труба, двотавр, швелер, кутик тощо). Основне завдання розмітки - забезпечення монтажного стенда відповідними маяками для правильного розташування елементів конструкцій монтажного блока згідно з проектом. Так, наприклад, стенд для збирання конструкцій панелі одного із поясів арки довжиною 12000 мм (по осі) повинен включати осі бокових криволінійних елементів нижнього пояса довжиною  $\ell_1$  і верхнього пояса  $\ell_2$  з радіусами кривини  $R_1$  і  $R_2$  відповідно (рис. 4). При цьому за проектною довжиною осі блока обчислюється центральний кут  $\gamma = 4^\circ 35' 01''$ , хорда  $c = 11997$  мм та стрілка кривини дуги  $f = 120$  мм, які використовуються для контролю правильності розмітки стенда. На продовженні осей (по нормалі до радіусів) закріплюються монтажні маяки (“виноски”).

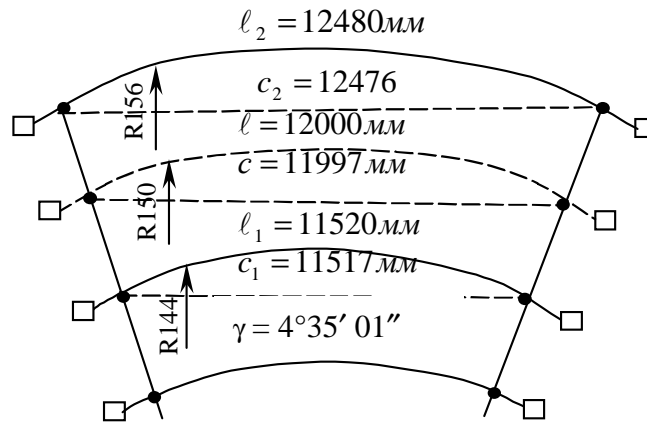


Рис. 4. Розмітка осей та основних маяків монтажного стенда для збирання криволінійних блоків арки.

У процесі монтажу і періодично при експлуатації стенда контролюється висотне положення (осідання) фундаментальних блоків та горизонтальність монтажного стола, а при виявленні деформації – незмінність розмітки осей та монтажних маяків.

Стенд № 3 для збирання кругових панелей блоків арки повинен включати розмітку всієї секції або її вітки (від опори до замка). На стенді розмічують базову лінію, яка з’єднує опори арки і є віссю абсцис для розмічування спочатку планового, а потім і висотного положення блоків арки.



Від базової лінії методом прямокутних або полярних координат переноситься в натуру, як мінімум, по дві точки для початку та кінця кожного блока з відповідними контрольними виносками й маяками для забезпечення правильності укладання, припасовування та з'єднання блоків в єдину конструкцію (рис. 5). Методи обчислення прямокутних координат точок кругової кривої даються в довіднику [5]. При збиранні просторових конструкцій додатково контролюється вертикальність та висотне положення стояків (роскосів) або верхніх панелей.

Застосування стапельного методу монтажу арки вимагатиме планово-висотного положення опорних частин конструкцій стапеля, розмітки поздовжніх та поперечних осей арки, монтажних маяків, контролю просторового положення окремих блоків на значній висоті, що ускладнюватиме технологію і призведе до підвищення точності інженерно-геодезичних вимірювань.

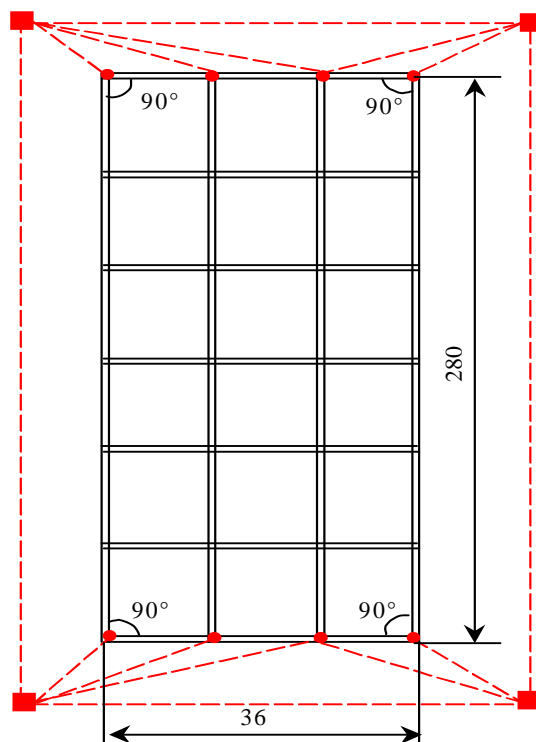


Рис. 5. Геодезичний контроль секцій арки.

### 7. Точність геодезичного контролю просторового положення арки під час монтажу її блоків

Вище розглядалося питання про вплив похибки виготовлення блока арки на збереження її геометричної форми. Тепер треба визначити необхідну точність геодезичного контролю планового й висотного положення кожного блока арки в процесі монтажних робіт та установці блока арки в проектне положення перед насуванням на штатне місце.

Нехай точка  $P$  (див. рис. 2) арки під впливом похибок  $m_a$  і  $m_h$  геодезичного контролю перемістилася вздовж кривої в точку  $P'$ , що в диференціальній формі призвело до утворення похибки  $m_k$  у довжині арки, напрям якої збігається з напрямом кривої. Тоді можна записати

$$m_k = \sqrt{m_a^2 + m_h^2}; \quad \frac{m_x}{m_h} = \operatorname{tg} \nu. \quad (25)$$

Враховуючи ці залежності, можна встановити співвідношення між  $m_a$  і  $m_h$  залежно від розташування точки на кривій арки, а саме:

$$m_a = m_k \sin \nu; \quad m_h = m_k \cos \nu. \quad (26)$$

Приймаючи умову, що похибки геодезичних вимірювань повинні бути вдвічі меншими від похибок виготовлення конструкцій, встановлено допустимі величини  $m_a$  і  $m_h$  відповідно для замка, середини та нижньої (опорної) зони арки:

$$\begin{aligned} m_a &\leq 0.50 m_k; & m_h &\leq 0.14 m_k; \\ m_x &\leq 0.42 m_k; & m_h &\leq 0.28 m_k; \\ m_a &\leq 0.18 m_k; & m_h &\leq 0.46 m_k, \end{aligned} \quad (27)$$

що загалом узгоджується з результатами інших поданих тут підходів до розрахунку точності контролю форми арки. Схему розподілу гранично допустимих величин похибок (мм) абсцис й аплікату характерних точок арки (при заданій постійній похибці формоутворення  $\Delta R/R = 1/10000$ ) наведено на рис. 6. З неї виходить, що для забезпечення геометричної форми арки найвища точність визначення абсцис (планового положення) точок арки потрібна в нижній частині (на опорі), а висот - у верхній частині (замку) арки. Для середніх точок віток арки максимальна величина першої похибки не повинна перевищувати 12,4 мм, а другої – 8,4 мм. Сумарна (просторова) величина цієї граничної похибки повинна бути меншою за 15 мм для будь-якої репрезентативної точки арки. Приймаючи із запасом точності, що середня квадратична похибка втричі менша від граничної, запишемо  $m_{xy} = 4,1$  мм і  $m_H = 2,8$  мм для сімох змонтованих блоків (довжина одного блока 12 м) і відповідно 1,5 і 1,1 мм у плані та по висоті для осьової (центральної) точки перерізу в (середньому) для будь-якого бло-

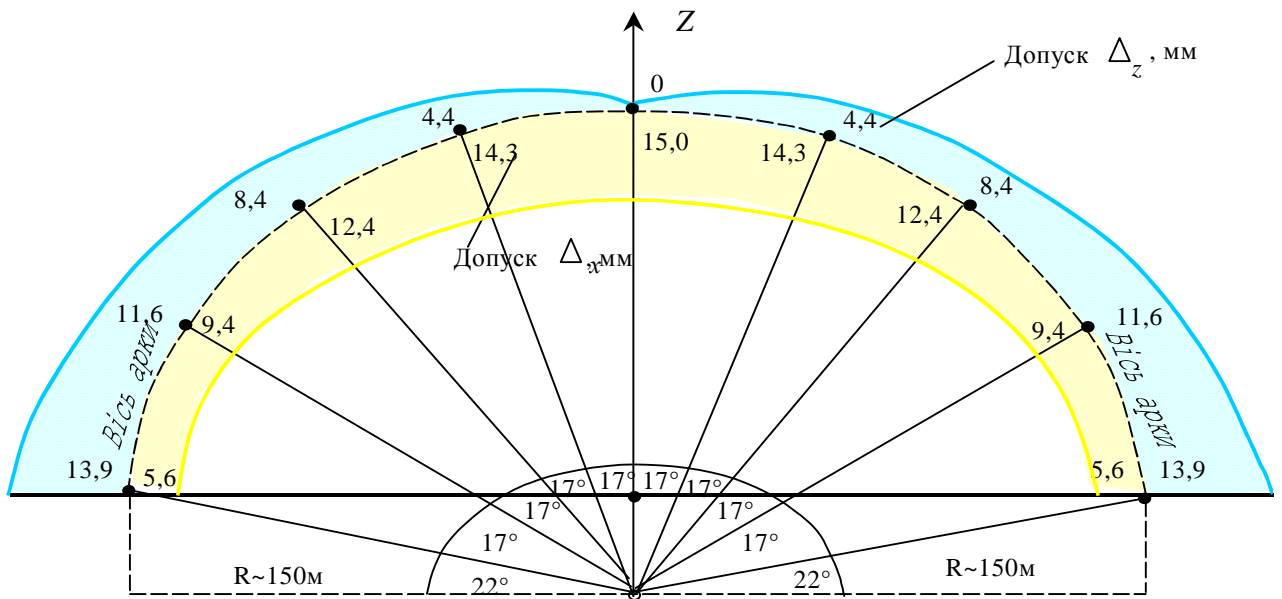


Рис. 6. Розрахунок гранично - допустимих похибок визначення абсцис і аплікату точок арки.

ка. Оскільки переріз блока арки в просторі визначається, як мінімум, чотирма вузлами стикування поясів, то середню квадратичну похибку геодезичного контролю просторового положення одного вузла блока можна допустити вдвічі більшою, тобто відповідно 3,0 і 2,2 мм. Але вихідними для розрахунку точності побудови планової та висотної геодезичної основи будуть попередні величини похибок, тобто відповідно 1,5 і 1,1 мм.

## 8. Головна планова й висотна геодезична мережа будівництва НБК

Основне призначення цієї мережі – забезпечення необхідної точності виготовлення блоків арки, їх збирання в єдину конструкцію та насування на штатне місце над об'єктом «Укриття». Концептуальну схему мережі показано на рис. 7, в якій одна половина пунктів розташована близько до існуючого об'єкта «Укриття», а друга половина - поза межами майбутнього монтажного майданчика, де будуть розташовані стелажі, стенди, цехи домонтажної підготовки виробництва тощо. Сторони мережі (будівельної сітки – БС) паралельні осям споруди, а їх довжина вибирається із врахуванням габаритів об'єкта «Укриття» та майбутньої арки, особливостей організації будівельно-монтажних та інженерно-геодезичних робіт. Довжина сторін сітки коливається від 140 до 300 м, середня сторона - близько 200 м.

Середні квадратичні похибки взаємного положення сусідніх пунктів мережі, згідно з попередніми розрахунками для забезпечення точності виготовлення арки, можна збільшити на  $\sqrt{2}$  й остаточно прийняти рівними 1 мм у плані та по висоті. При максимальній, середній і мінімальній довжинах сторін мережі 300, 200 і 140 м відносні середні квадратичні похибки взаємного положення пунктів мережі в плані не повинні бути більшими 1:300 000, 1:200 000 і 1:140 000 відповідно, а пунктів висотної мережі – не більше 1 мм.

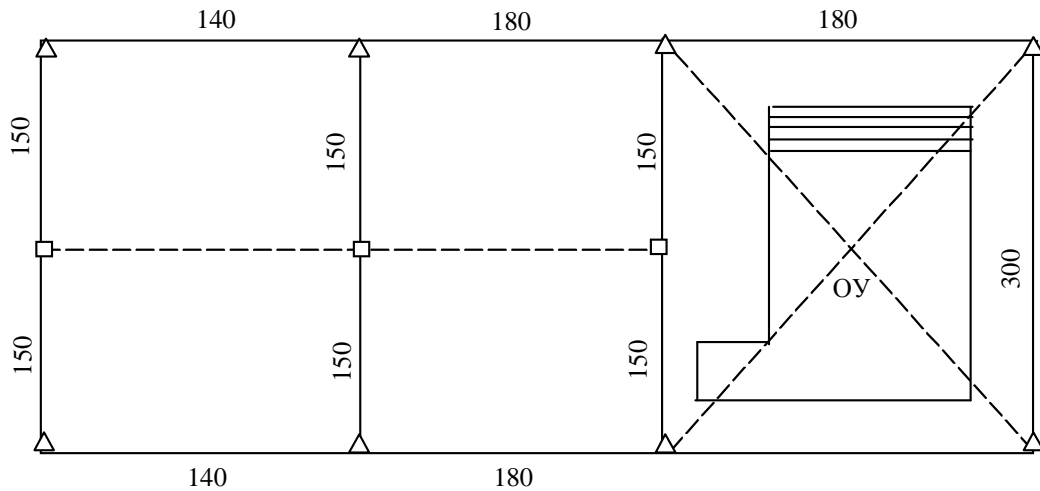


Рис. 7. Концептуальна схема будівельної сітки для зведення НБК.

Указана точність забезпечується в плані методами GPS-спостережень у комбінації з лінійно-кутовими побудовами (триангуляцією) з використанням високоточних електронних тахеометрів типу TC 1800 Leica, а по висоті – прецизійним геометричним нівелюванням (цифрові нівеліри типу Na 3002 Leica і DINI 12 Zeiss).

Для надання пунктам БС координат у системі координат об'єкта “Укриття” виконується її прив'язка до пунктів існуючої планової та висотної геодезичної мережі 1-го класу. Треба зауважити, що ця мережа може використовуватися і для спостережень за деформаціями НБК як на стадії його зведення, так і експлуатації, хоча деякі із її пунктів можуть бути знищені або порушені при виконанні будівельно-монтажних робіт та переплануванні території майданчика. З цих міркувань та з метою створення запасу точності планову мережу доцільно будувати з похибкою взаємного положення віддалених пунктів 1:500 000 і по висоті 0,5 мм на 1 км ходу.

### 9. Концепція геодезичного контролю за станом конструкцій при будівництві та експлуатації НБК

У системі геодезичного контролю за станом будівельних конструкцій НБК важливе місце посідають спостереження за осіданням, горизонтальними зміщеннями та крученнями фундаментів та арки, на що звернута увага й у концептуальному проекті будівництва НБК. Оскільки арка опиратиметься на північний та південний фундаменти, то система контролю повинна включати вбудовані контрольні репери на ростверк у кожному місці опирання арки на фундамент та вздовж західної стіни, де розташовані конструкції укріплення західної зони, яка прилягає до будівельного майданчика. Принципову схему розташування контрольних реперів з обох боків фундаментів арки, які дають змогу визначати величину, напрям і швидкість горизонтальних і вертикальних зміщень та кручення фундаментів під впливом навантаження від арки та інших факторів, показано на рис. 8.

Частота геодезичних спостережень встановлюється залежно від прогнозованої швидкості осідання конструкцій. Крім того, вимірювання повинні виконуватися після будь-якої аварії або небезпечного природного явища.

Інженерно-геодезичні спостереження за осіданнями та горизонтальними зміщеннями потрібно періодично виконувати в процесі зведення фундаменту, перед і після насування арки, в інтервалі між зведенням та очікуванні до завантаження. Циклічність спостережень повинна бути встановлена після виконання перших трьох - чотирьох циклів, наприклад через місяць після завершення будівництва, але такі спостереження повинні виконуватися і в процесі забивання паль, влаштування ростверку тощо, наприклад, при доведенні власної маси фундаменту до 25, 50, 75 і 100 %, а потім – за його осіданнями й кренами після насування арки. При довжині споруди близько 150 м фундаменти можуть мати температурні шви, що вимагатиме розташування контрольних реперів на початку, у середині та в кінці кожного фундаментного блока (при довжині блока ~ 60 м повинно бути не менше п'яти контрольних реперів по обидва боки від осі фундаменту, розташованих з таким розрахунком, щоб їх,

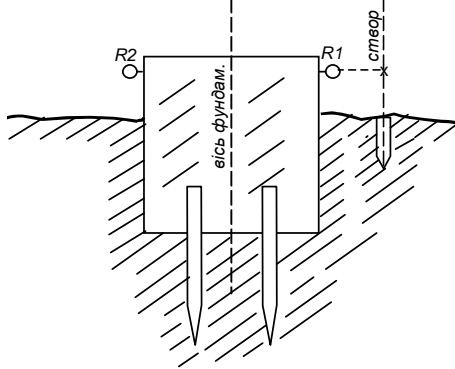


Рис. 8. Схема фундаментного блока.

особливо зовнішні, можна було використати не тільки для вимірювання осідань, але й для визначення горизонтальних зміщень від поздовжніх створів методом бокового нівелювання. Саме створні спостереження за реперами  $R_1$  дозволять після навантаження фундаментних блоків аркою визначати можливі кручення (крани) фундаментів. Аналогічні спостереження необхідно організувати за можливими осіданнями та горизонтальними зміщеннями фундаментів та важливих конструкцій укріплення західної зони об'єкта "Укриття", зокрема обидвох башт та інших конструкцій які підтримують балки Б-1 і Б-2

та стіну 50-ї осі, стабільність яких може бути порушена при інженерно-технічному облаштуванні будівельного майданчика.

Особливого розгляду потребують інженерно-геодезичні підходи до призначення норм точності визначення деформаційних зміщень арки, які, через унікальність самої споруди, не знайшли відображення в нормативних документах [2 - 4] і вимагають відповідного обґрунтування. Як відомо, похибки визначення деформаційних зміщень встановлюються і проектом, але там їх немає. За прийнятою у будівництві традицією цю унікальну арку можна умовно прийняти як відповідальну споруду й перенести на неї існуючі в практиці положення щодо точності інженерно-геодезичних спостережень. Це дасть змогу встановити порядок "допустимих" вимог до точності вимірювань.

Для встановлення вимог до точності визначення вертикальних зміщень можна взяти розрахункове зміщення у замку арки 200 мм, але цей параметр вимагає диференційованого підходу при призначенні точності вимірювань на різних горизонтах арки. Так, наприклад, згідно з ГОСТ 24846-81 [2], допустима похибка визначення зміщень в експлуатаційний період для споруд, зведених на піщаних ґрунтах (при вертикальному статичному параметрі 250 мм для унікальних споруд і розрахованих на період експлуатації більше 50 років), не повинна перевищувати 2 мм для горизонтальних зміщень і 1мм - для вертикальних, тобто менше 2 % від величини самого зміщення. Але для статично нестійких споруд, якою є арка НБК, доцільно встановити диференційовану точність визначення зміщень залежно від висотного положення контрольних точок: для нижньої частини арки (висота до 30 м) прийняти вказані вище нормативи, тобто 2 і 1 мм, а для верхньої (висота більше 60 м) - 4 і 2 мм відповідно для горизонтальних і вертикальних зміщень. В окремих випадках для вивчення впливу деформативності арки на стабільність геометричних параметрів колій мостових

кранів (прямолінійність, паралельність, еквідистантність, горизонтальність і похідні від них перекося колій) точність геодезичних вимірювань можна назначати за першим нормативом.

Для отримання надійної інформації про деформаційні процеси у важливих місцях арки проект розташування контрольних марок повинен враховувати епюру згинальних моментів (рис. 9), де показано розміщення дев'яти марок в одному поперечному перерізі арки. Для чотирьох блоків арки загальна кількість контрольних точок становитиме 45.

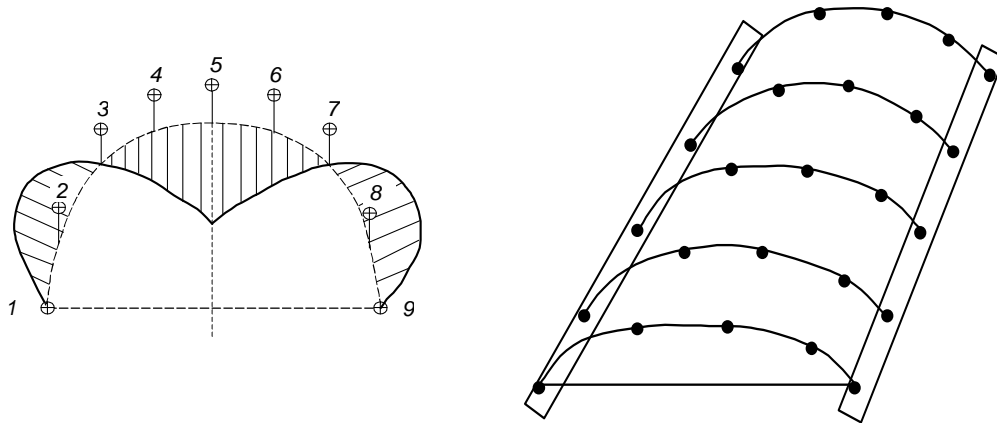


Рис. 9. Схема розміщення контрольних марок і реперів на фундаментах та арці  
а - епюра моментів; б - варіант розташування марок.

З метою контролю взаємного зміщення аркових блоків у місцях стикування фундаментних блоків через температурні шви кількість додаткових контрольних марок може зрости на дев'ять марок. В окремих випадках з техніко-економічних міркувань, за погодженням з автором проекту, кількість контрольних марок можна зменшити за рахунок вилучення проміжних марок 2, 4, 6 і 8, розташованих в неекстремальній зоні, що дозволить звести загальну кількість контрольних марок арки до 30. При цьому марки 1 і 9, які розташовані на опорах фундаменту, разом з контрольними реперами й марками (для вимірювання горизонтальних зміщень) будуть надійно представляти взаємодію опорної частини арки з фундаментом.

Інженерно-геодезичний контроль просторового положення контрольних марок арки, зокрема тих, що розташовані у верхній та бокових її частинах, доцільно виконувати дистанційно за допомогою прямих куткових засічок. З метою спрощення методики та забезпечення оперативності вимірювань із застосуванням лінійно-кутових засічок (метод електронної тахеометрії) частину контрольних марок доцільно закріпити спеціальними призмами-рефлекторами типу GRZ4-360° Leica (гребінь арки) та катафотовими марками на клейовій основі (східний і західний фронтони).

## 10. Висновки

1. Інженерно-геодезичне забезпечення зведення НБК повинно виконуватися на всіх етапах виконання будівельно-монтажних робіт: влаштування фундаменту, підготовка конструктивних елементів та збирання блоків і секцій, їх стикування в єдину систему, спостереження за деформаціями в процесі насування на штатне місце та експлуатації.

2. Виготовлення й монтаж конструкцій арки навіть за 1-м класом точності ГОСТ може призвести до похибок стикування окремих секцій величиною до 30 мм, що разом із впливом інших факторів (зміна температури, вітер тощо) може ускладнити процес монтажу і викликати необхідність застосування компенсаційних блоків. З метою усунення похибок негативного впливу багатьох факторів, особливо температури, та спрощення контролю роз-

мірів і форми блоків та секцій арки більшість технологічних процесів монтажного циклу необхідно виконувати на стелажах, стендах і стапелях при відповідному інженерно-геодезичному супроводженні.

3. Організаційною основою виконання робіт повинна бути планова й висотна геодезична мережа, побудована з похибкою взаємного положення пунктів не більше 1:200 000 в плані і 1 мм по висоті та закріплена надійними й довговічними знаками.

4. При виконанні спостережень за деформаціями арки горизонтальні та вертикальні зміщення контрольних марок необхідно вимірювати диференційовано з похибками не більше 2 і 1 мм відповідно для нижньої третини арки та 4 і 2 мм – для решти.

5. Враховуючи унікальність та значні розміри НБК, екстремальні умови його зведення та довготривалі терміни експлуатації, необхідно розробити проект виконання інженерно-геодезичних робіт для всіх етапів будівництва споруди.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А., Цыхановский В.К., Немчинов Ю.И., Бамбура А.М.* Численное моделирование задач формообразования большепролетных арочных сводов // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вип. 10. - Ч. 1.- С. 478 – 483.
2. *ГОСТ 21779-82.* Система обеспечения геометрической точности в строительстве. Технологические допуски геометрических параметров. - М.: Стройиздат, 1982. - 23 с.
3. *ГОСТ 24846-84.* Геодезические измерения деформаций оснований и конструкций сооружений. - М.: Госстандартиздат, 1984. - 26 с.
4. *СНиП 3.01.03-84.* Геодезические работы в строительстве. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. - 28 с.
5. *Справочник по инженерной геодезии.* / П. И. Баран, Н. Г. Видуев, С. П. Войтенко и др.; Под общ. ред. Н. Г. Видуева. - К.: Вища шк., 1978. - 376 с.
6. *Баран П.І., Сушко В.Г., Чорнокін В.Я.* Інженерно-геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта “Укриття” ЧАЕС // Вісник геодезії та картографії. - 2002. - № 3. - С. 20 - 24.

Надійшла до редакції 24.10.05

**1 КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» ЧАЭС**

**П. И. Баран, В. Г. Сушко, В. Я. Чернокин**

Даются теоретические исследования погрешностей формообразования металлической круговой арки нового безопасного конфинмента над объектом “Укрытие” ЧАЭС, исследование и методы учета температурной деформации арки, анализ погрешностей изготовления и сборки блоков и секций арки в единую конструкцию, расчет допустимых погрешностей геодезического контроля сборки арки, необходимая точность построения главной плановой и высотной геодезической сети, предложения по организации наблюдений за деформациями сооружения.

**1 CONCEPTUAL BASES ORGANIZATION ENGINEERING-GEODETIC WORKS AT CONSTRUCTION AND USAGES NEW SAFE CONFINEMENT "UKRYTTYA" OBJECT CHNPP**

**P. I. Baran, V. G. Sushko, V. Y. Chernokon**

Given theoretical investigations of errors shape up metallic circular arch new safe confinement on "Ukryttya" object ChNPP, research and methods account of temperature deformation an arch, analysis inaccuracy fabrications and assemblies of blocks and sections of arch in united design, calculation of possible inaccuracy geodetic control an assembly of arch, necessary accuracy formation main planned and high-altitude geodetic network, offers on organization observations of deformation a building.

Наведено теоретичні дослідження похибок формоутворення металевої кругової арки нового безпечного конфайнмента над об'єктом "Укриття" ЧАЕС, дослідження та методи обліку температурної деформації арки, аналіз похибок виготовлення та складання блоків і секцій арки в єдину конструкцію, розрахунок припустимих похибок геодезичного контролю складання арки, необхідна точність побудови головної планової та висотної геодезичної сітки, пропозиції з організації спостережень за деформаціями споруди.