

## СЕКЦІЯ МІЦНІСТЬ, СТІЙКІСТЬ, НАДІЙНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

УДК 624:515.2

*Усенко В.Г., к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-4937-6442,  
e-mail [valery\\_usenko@ukr.net](mailto:valery_usenko@ukr.net),  
Погорілий Д.Ф., к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-6217-4243,  
e-mail [uaag.poltava2012@gmail.com](mailto:uaag.poltava2012@gmail.com),  
Усенко І.С., к.т.н., доцент, ORCID 0000-0002-6217-4423,  
e-mail [irina\\_\\_usenko@ukr.net](mailto:irina__usenko@ukr.net),  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,  
м. Полтава*

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РОЗПАЛУБКИ В ПОБУДОВІ МОНОЛІТНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОКРИТТІВ

***Анотація.** У публікації висвітлено методику моделювання зміни форми та розмірів монолітної просторової конструкції після зняття опалубки у процесі побудови. Зазначено, що монолітні конструкції змінюють форму від сили тяжіння, фізико-механічних властивостей матеріалів, технологічних особливостей побудови оболонок, а також геометрії поверхонь серединної та граничних поверхонь. Методика моделювання зміни форми та розмірів монолітної конструкції після зняття опалубки складається із п'яти етапів із використанням ітераційного процесу.*

***Ключові слова:** монолітні просторові покриття, властивості бетонної суміші, опалубка.*

UDC 624:515.2

*Usenko V.G., PhD, Associate Professor, ORCID 0000-0002-4937-6442,  
e-mail [valery\\_usenko@ukr.net](mailto:valery_usenko@ukr.net),  
Pogorely D.F., PhD, Associate Professor, ORCID 0000-0002-6217-4243,  
e-mail [uaag.poltava2012@gmail.com](mailto:uaag.poltava2012@gmail.com),  
Usenko I.S., PhD, Associate Professor, ORCID 0000-0002-6217-4423  
e-mail [irina\\_\\_usenko@ukr.net](mailto:irina__usenko@ukr.net),  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava*

### THE METHOD FOR DETERMINATION OF THE TIME OF FORMWORK IN CONSTRUCTION OF MONOLITHIC SPACIOUS COATINGS

***Abstract.** The paper highlights the methodology for modeling the change in the shape and size of a monolithic spatial structure after the formwork was removed during the construction process. It is noted that monolithic structures change shape due to gravity, physical and mechanical*

*properties of materials, technological features of shell construction, as well as geometry of surfaces of median and boundary surfaces. The method of modeling the change in the shape and size of a monolithic structure after the removal of the formwork consists of five stages using the iteration process.*

**Keywords:** *monolithic spatial coatings, properties of concrete mix, formwork.*

**Вступ.** У процесі побудови монолітні просторові покриття після зняття опалубки зазнають змін форми від сили тяжіння, значення якої залежать від властивостей матеріалів, технологічних особливостей побудови оболонок, а також геометрії модельованих поверхонь. Відхилення остаточної форми та розмірів конструкції від заданих досягають при цьому в деяких випадках 5...7% [1], що позначається на міцності споруди, а також на естетичних і функціональних її властивостях. Зміни у формі та розмірах конструкції визначають остаточною серединну, зовнішню і внутрішню її поверхні, впливають на перерозподіл навантаження від власної ваги, а отже, повинні враховуватися у процесі проектування та побудови монолітних просторових покриттів. У зв'язку про цим представляється актуальним задача моделювання зміни форми оболонок у різний час після зняття опалубки для отримання перетворених під дією чинників та властивостей будівельних матеріалів теоретичних поверхонь цих конструкцій.

**Методика досліджень.** Стан монолітної конструкції знаходиться в прямій залежності від модуля пружності її матеріалу, що змінюється в часі з моменту приготування бетонної суміші. Враховуючи модуль деформативності, отримуємо граничний час  $t$  зняття утримуючого впливу конструкції опалубки. Порівняння поточної зміни форми та розмірів оболонки з граничною дає можливість визначити достатність заданого періоду часу для набору міцності матеріалом оболонки та величини відповідних деформацій.

Методика моделювання деформацій монолітної оболонки в часі в процесі її побудови призначається для забезпечення проектування просторових покриттів.

На першому етапі методики вводяться початкові дані:

1) геометричні параметри просторового покриття – аналітичний опис поверхні  $F(x, y, z) = 0$  або масив координат точок для поверхонь, заданих табличною функцією та опис границь поверхні;

2) товщина нанесеного шару бетонної суміші  $h$ , об'ємна вага матеріалу конструкції  $\rho$ ;

3) початковий час приготування бетонної суміші (24...36 год).

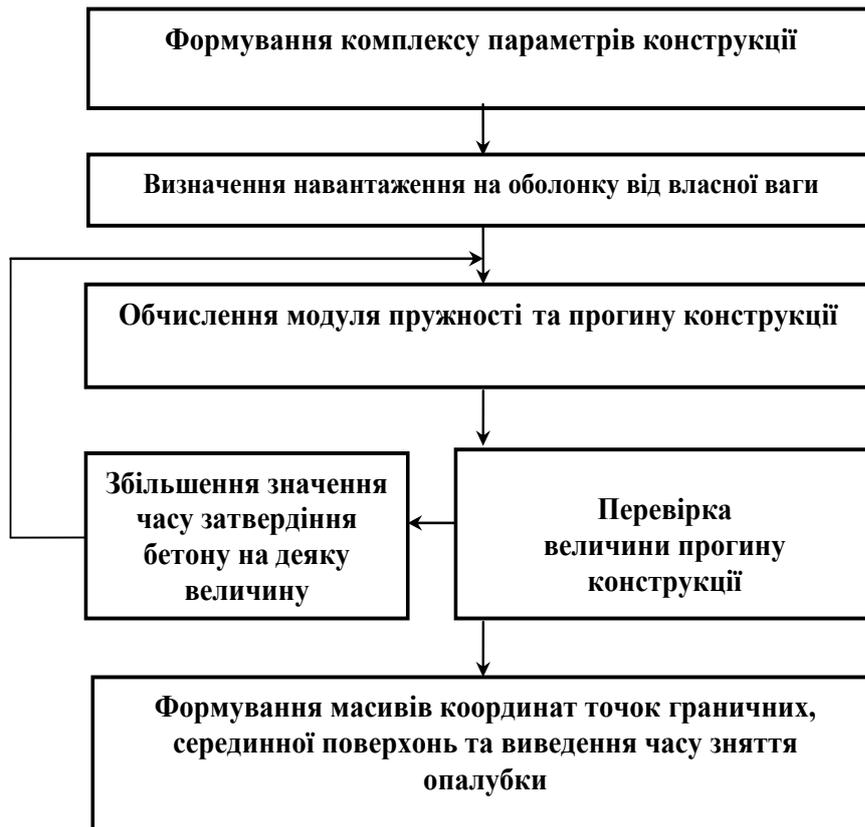


Рис. 1. Етапи методики моделювання зміни форми та розмірів конструкції монолітної оболонки під час зведення

На другому етапі, коли конструкція працює після зняття опалубки, обчислюється розподілене навантаження  $q$  від власної ваги монолітного покриття, використовуючи наявні величини: об'ємної ваги  $\rho$ , товщини шару суміші  $h$ , площу поверхні конструкції  $S$ . Далі визначають модуль пружності матеріалу. Для цього необхідно враховувати фізико-механічні властивості будівельного матеріалу у процесі його твердіння. Одна з важливих особливостей бетонної суміші – це практично постійна зміна її властивостей від початку приготування і до затвердіння, що залежить від складних фізико-хімічних процесів, що перебігають в цьому матеріалі [2].

На третьому етапі необхідно обчислити прогини монолітної оболонки, що має модуль пружноміттевої деформації  $E(\tau)$ . Два параметри: гранична міра повзучості бетону  $C(\infty, \tau)$ , а також відносна усадка  $\varepsilon(\infty, \tau)$  залежать від величини еталонної повзучості бетону [3]:

$$C(\infty, \tau) = C_{\dot{a}\dot{o}}(t, 28)k_1, \dots, k_n, \quad \varepsilon(\infty, \tau) = \varepsilon_{\dot{a}\dot{o}}(t, 28)m_1, \dots, m_n, \quad (1)$$

де  $C_{em} = 6.36 \cdot 10^{-5}$  МПа у віці 28 діб;  $k_i, m_i \ i=1, \dots, n$  – коефіцієнти, що враховують властивості бетону;  $\varepsilon_{\dot{a}\dot{o}} = 373 \cdot 10^{-6}$ .

Модуль пружноміттевих деформацій бетону  $E(\tau)$  залежить від модуля його пружності  $E(\infty)$  у віці бетону  $\tau = \infty$  [3]

$$E(\tau) = E(\infty)(1 - 0,372e^{-0,0259\tau})(\tau, \dot{a}^3\dot{a}) \quad (2)$$

Модуль  $E(\tau)$  бетону в часі залежить від його характеристики повзучості [3]:

$$\varphi(t, \tau) = E(\tau)C(t, \tau), \quad (3)$$

де  $E(\tau)$  – модуль деформативності матеріалу для моменту початку формування напруг  $\tau$  з початку приготування бетонної суміші;  $t$  – поточний час;  $C(t, \tau)$  – міра повзучості бетону для поточного часу  $t$ . Значення прогину монолітної просторової конструкції для часу  $\tau$  виражаються залежністю

$$w(\tau) = w_i (1 + \varphi(t, \tau)), \quad (4)$$

де  $w_m$  – миттєвий прогин оболонки в момент зняття опалубки, що залежить від контуру плану конструкції [4];  $\varphi(t, \tau)$  – характеристика повзучості бетону. Для оболонки, що має квадратний контур плану значення прогину дорівнює

$$w = \bar{w} \frac{qa^4}{10^4 D}, \quad (5)$$

де  $q$  – інтенсивність розподіленого навантаження;  $a$  – довжина сторони опорного контуру;  $D$  – циліндрична жорсткість конструкції дорівнює [4]:

$$D = \frac{E(\tau)h^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (6)$$

де  $h$  – товщина конструкції;  $\mu$  – коефіцієнт Пуасона;  $E(\tau)$  – модуль пружності бетону;  $\tau$  – період часу з моменту приготування бетонної суміші. Щоб отримати задовільну величину прогину, потрібно організувати ітераційний процес зі зміною часу  $t=t+\Delta t$ .

На четвертому етапі потрібно порівняти деформацію оболонки з гранично допустимою. Залежно від виконання цієї умови приймається рішення щодо подальших дій. Якщо зміна форми та розмірів конструкції є меншою від граничних, то поточний час зняття опалубки з оболонки є прийнятним, в іншому разі – знімати утримуючу конструкцію ще рано. Щоб отримати проектне значення стріли підйому  $f_n$  монолітної конструкції після зняття опалубки, необхідно збільшити її значення на величину прогину  $w(\tau)$ .

На п'ятому етапі впорядковуються отримані результати для внесення змін у форму опалубки монолітної конструкції у відповідному технологічному проекті.

**Висновки.** У результаті досліджень отримано методику визначення різних параметрів, необхідних для побудови монолітної просторової конструкції, серед яких: граничний час зняття опалубки з конструкції, початкові розміри та форма граничних та серединної поверхні оболонки для проектування монолітного просторового покриття.

#### *Література*

1. Арзуманов А.С. Возведение конструкций с применением пневмоопалубок: теория и технология / А.С. Арзуманов. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1990. – 152 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона / Баженов Ю.М. – М.: Стройиздат, 1978. – 455 с.
3. Прокопович И.Е. Прикладная теория ползучести / И.Е. Прокопович, В.А. Зедгенидзе. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
4. Назаров А.А. Основы теории и методы расчета пологих оболочек / А.А. Назаров. – Л.: Стройиздат, 1966. – 303 с.