



## РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОПАЛУБКИ ДЛЯ ПРОСТОРОВИХ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ

**Я. Р. Лелик, О. П. Берlach**

*Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
б. 8, вул. Молоді, м. Луцьк, Волинська область, Україна, 43024.*

*E-mail: pasha\_berlach@mail.ru*

*Отримана 5 листопада 2010; прийнята 26 листопада 2010.*

**Анотація.** У статті подано розрахунок геометричних параметрів при спорудженні покриттів у вигляді криволінійних поверхонь. Встановлено конструктивні вимоги, враховано виробничі та геометричні фактори, а також показники, які впливають на конструкцію опалубки. Розглянуто один із можливих варіантів вирішення уніфікованої щитової опалубки з врахуванням точності апроксимації в залежності від ширини опалубного щита. Розроблена класифікаційна схема конструктивних елементів опалубки з урахуванням геометричних аспектів конструктивних вимог, яка дає можливість вибрати один із варіантів конструктивного рішення. Розв'язання питань, пов'язаних з проектуванням окремих елементів, дає можливість виявити обсяг завдань, які вимагають розв'язання при автоматизованому проектуванні щитової опалубки. У науковій роботі пропонується варіант несучого елемента у вигляді ферми зі змінною геометрією, який набирається з одиночних модулів.

**Ключові слова:** опалубка, опалубний щит, апроксимація, фактор, будівництво, конструкції, монолітні покриття, поверхні, проектування.

## РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПАЛУБКИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Я. Р. Лелик, А. П. Берlach**

*Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
д. 8, ул. Молодежи, г. Луцк, Волинская область, Украина, 43024.*

*E-mail: pasha\_berlach@mail.ru*

*Получена 5 ноября 2010; Принята 26 ноября 2010.*

**Аннотация.** В статье представлен расчет геометрических параметров при сооружении покрытий в виде криволинейных поверхностей. Установлены конструктивные требования, учтены производственные и геометрические факторы, а также показатели, влияющие на конструкцию опалубки. Рассмотрен один из возможных вариантов решения унифицированной щитовой опалубки с учетом точности аппроксимации в зависимости от ширины опалубочного щита. Разработана классификационная схема конструктивных элементов опалубки с учетом геометрических аспектов конструктивных требований, позволяющая выбрать один из вариантов конструктивного решения. Решение вопросов, связанных с проектированием отдельных элементов, дает возможность выявить объем задач, требующих разрешения при автоматизированном проектировании щитовой опалубки. В научной работе впервые предлагается вариант несущего элемента в виде фермы с переменной геометрией, который набирается из одиночных модулей.

**Ключевые слова:** опалубка, опалубочный щит, аппроксимация, фактор, строительство, конструкции, монолитные покрытия, поверхности, проектирование.

## CALCULATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS FOR SPATIAL FORM PROJECTING CURVILINEAR SURFACES

Yaroslav Lelyk, Alexander Berlach

*Volyn National University of Lesy Ukrainka*

*House 8-A, Apt. 604, Youth Av., Lutsk, Ukraine, 43024.*

*E-mail: pasha\_berlach@mail.ru*

*Received 5 November 2010; accepted 26 November 2010.*

**Annotation.** The article describes the calculation of geometrical parameters in the construction of coatings in the form of curvilinear surfaces. Established structural requirements, included production and geometric factors and indicators that affecting the construction of decking. Considered one possible solution unified shield decking with incorporation accuracy of the approximation depends on the width of decking shield. Elaborated the classification scheme of structural members including decking geometric aspects of structural requirements, which gives the opportunity to choose one of the options for a constructive solution. Resolving issues associated with the design of individual elements, makes it possible to detect the amount of tasks, requiring solution the automated design of shield decking. In the scientific work first variant of the bearing element in the form of form with variable geometry, dialed with a single modules.

**Keywords:** formwork, formwork panels, approximation, factor, construction, design, monolithic coating, surface design.

### Формування проблеми

При спорудженні криволінійних покриттів в монолітному варіанті актуальним є створення опалубки багаторазового використання, яка б дала змогу з найменшими затратами і найбільшою точністю відтворити геометрію криволінійної поверхні. У зв'язку з цим виникають питання проектування уніфікованої щитової опалубки та вибору ширини щита в залежності від точності апроксимації.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемі проектування уніфікованої щитової опалубки просторових криволінійних покриттів присвячено широкий спектр досліджень, основоположниками серед яких є наукові праці професора Михайленко В. Є. та його учнів [2, 3, 4].

### Мета

Ця робота присвячена проблемі розробки методики та дослідження точності апроксимації криволінійних поверхонь при виборі геометричних параметрів щитів уніфікованої щитової опалубки.

### Основний матеріал

При спорудженні покриттів у вигляді криволінійних поверхонь і надалі залишається актуальним питання апроксимації та створення опалубок багаторазового використання, які дають можливість споруджувати об'єкти з різним ступенем кривини. Цьому питанню присвячена дана стаття, яка частково дає відповідь на поставлені питання, що виникають при побудові математичної моделі уніфікованої опалубки.

Основними конструктивними вимогами, які ставляться до опалубки, в першу чергу є показники необхідної міцності і жорсткості. Від деформативності опалубки залежать міцність і якість монолітних конструкцій, трудомісткість опалубних і оздоблювальних робіт, довговічність і вартість опалубки. При значній деформативності можливе викривлення поверхні, порушення геометричних розмірів конструкцій, утворення раковин на поверхні бетону.

Основним фактором, який впливає на конструкцію опалубки, є тип бетонованої конструкції. Оскільки в будівництві віддається перевага тонкостінним монолітним покриттям будівель і споруд, основна увага приділяється геометричним факторам конструювання опалубки,

куди входять питання паркетування, а також геометричного проектування несучих елементів у вигляді ферм зі змінною геометрією.

Основними показниками, які впливають на вибір варіанта опалубки є її вартість і трудомісткість в розрахунку на 100 м<sup>2</sup> поверхні під опалубку. Вартість конструкції опалубки значно залежить від збірності і кратності використання її елементів. В зв'язку з цим виникає задача апроксимації поверхні однаковими типоелементами з мінімальною кількістю доборів для різних класів поверхонь.

Зменшення вартості опалубки можна досягти за рахунок спрощення її поверхні по відношенню до поверхні конструкції за рахунок апроксимації поверхності розгортними поверхнями.

Таке спрощення можна застосувати в межах, що допускаються діючими нормами похибок на виготовлення конструкцій при зведенні споруд.

При проектуванні опалубки складних архітектурних форм виникає необхідність розбивки її на окремі конструктивні елементи. Розв'язання геометричних, конструктивних і технологічних питань, пов'язаних з проектуванням окремих елементів, дає можливість виявити коло задач, які вимагають розв'язання при автоматизованому проектуванні щитової опалубки. Розроблена класифікаційна схема конструктивних елементів опалубки з урахуванням геометричних аспектів і конструктивних вимог дає можливість вибрати один із варіантів конструктивного рішення опалубки.

В практиці існують варіанти опалубки, коли несучі і підтримуючі елементи об'єднані в одному елементі. Так, у варіанті котючої опалубки і опалубки для бетонування вертикальних стін підтримуючі і несучі елементи об'єднані, але при виконанні опалубки для просторових покриттів таке об'єднання неможливе. В зв'язку з цим зазвичай розробляється конструкція опалубки для бетонних покриттів, яка складається з формотворчих, несучих і підтримуючих елементів. Формотворчі елементи після їх установки в робоче положення утворюють форму для бетонної суміші, яка відповідає конфігурації і розмірам конструкції.

Формотворчий елемент може представляти суцільний настил або збиратися із щитів (щитова опалубка).

У випадку виконання щитового настилу виникають питання геометричного характеру, пов'язані з точним і наближеним паркетуванням середньої поверхні оболонки.

Несучі елементи, застосовані при створенні опалубки, найчастіше представляють собою балки і розсувні ригелі. Нами пропонується варіант несучого елемента в вигляді ферми зі змінною геометрією, який набирається з одиночних модулів (рис. 1). Для створення криволінійних обрисів несучих елементів в нижньому поясі ферми між суміжними модулями встановлюються жорсткі зв'язки змінної довжини. Така конструкція несучого елемента дає можливість змінювати розмір перекритого прольоту і змінювати кривину верхнього поясу по довжині несучого елемента.

При створенні опалубки для вантових покриттів можна застосовувати стежне-вантові ферми, в яких по нижньому поясу встановлюється трос довжини, що дає можливість отримати несучий елемент необхідної кривини. Підтримуючі елементи опалубки, що застосовуються для установки несучих елементів на проектній відмітці, є трубчастими або решітчастими телескопічними стійками.

Конструкція несучого елемента з геометричної точки зору складається з жорстких модулів, з'єднаних в вузлах верхнього поясу шарнірами, а в вузлах нижнього поясу — з допомогою жорстких зв'язків змінної довжини (рис. 2). Така конструкція дає можливість моделювати плоску криву на заданій поверхні і має при цьому достатню жорсткість для сприйняття навантажень.

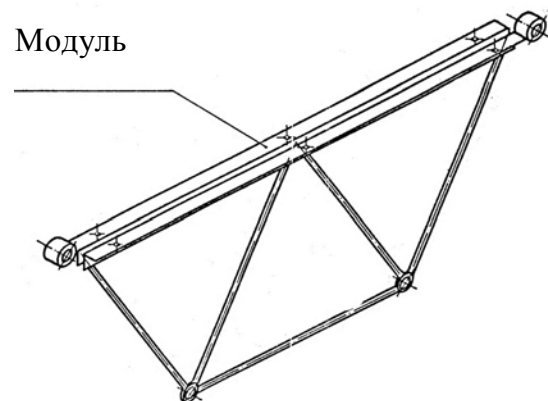


Рисунок 1. Варіант несучого елемента.

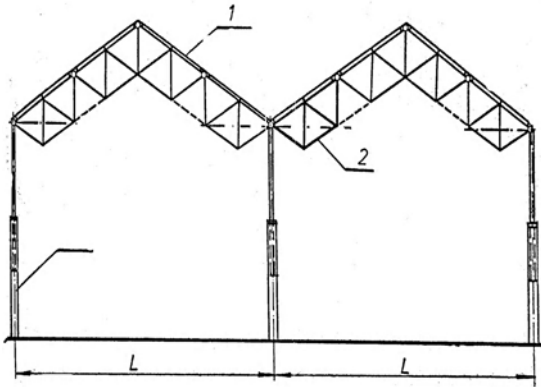


Рисунок 2. Конструкція несучого елемента.

Для отримання необхідної конфігурації несучого елемента, набраного з модулів, потрібно розв'язати задачу визначення відстаней між вузлами нижнього поясу в залежності від радіуса кривини плоскої кривої.

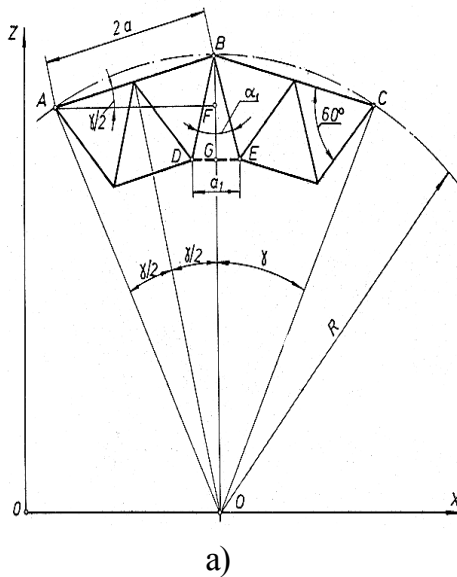
При проектуванні несучого елемента можливе задання плоскої кривої аналітично або аплікатами точок з певним кроком. Розглянемо визначення шуканої величини для першого та другого випадку.

Геометрична схема для першого варіанту представлена на рис. 3 а.

Де:  $R$  – радіус кривини;

$AB = 2a$  – ширина модуля;

$DB = AB/2$  – довжина сторони модуля.



З трикутника  $AOB$  знаходимо кут  $\gamma$

$$2a = 2R \sin \gamma / 2$$

$$\sin \gamma / 2 = a / R$$

$$a_1 / 2 = 90^\circ - (\gamma / 2 + 60^\circ),$$

$$\text{або } a_1 / 2 = 30^\circ - \gamma / 2.$$

З трикутника  $DBG$  визначаємо віддаль  $DG$ .

$$DG = DB \sin \gamma / 2 = \arcsin (30^\circ - \gamma / 2),$$

$$a_1 = 2DG = 2a \sin (30^\circ - \gamma / 2) = 2R \sin \gamma / 2 \cdot \sin (30^\circ - \gamma / 2). \quad (1)$$

Формула (1) може бути використана, коли апроксимована крива являє собою коло.

Для другого випадку крива міняє кривину по довжині і задана аплікатами точок, положення яких співпадає з шарнірами верхнього поясу модулів рис. 3 б.

Відомі  $Z_a, Z_b, Z_c$  – аплікати точок;

$AB = 2a$  – ширина модуля;

$DB = AD/2$  – довжина сторони модуля;

$$\Delta Z_1 = Z_B - Z_A = Z_i - Z_{i-1},$$

$$\Delta Z_2 = Z_C - Z_B = Z_i - Z_{i-1}, \quad (2)$$

$$\sin \beta_1 = \Delta Z_1 / 2a,$$

$$\sin \beta_2 = \Delta Z_2 / 2a.$$

З рис. 3 б видно, що

$$\alpha_1 + \beta_1 + \beta_2 = 60^\circ, \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \pi / 3 - (\beta_1 + \beta_2).$$

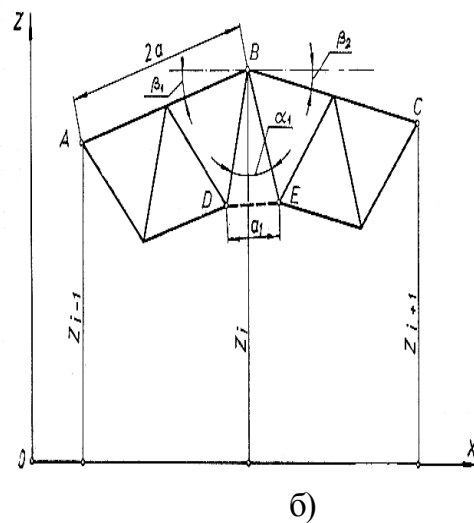


Рисунок 3. Геометрична схема.

Підставляємо значення (2) в (3), отримуємо формулу для визначення шуканого кута

$$\alpha_1 = [\pi/3 - (\arcsin \beta_1 + \arcsin \beta_2)]. \quad (4)$$

Віддаль DE з трикутника DBE знайдемо по формулі:

$$DE = a_1 = 2 \arcsin \alpha_1 / 2. \quad (5)$$

Підставляємо значення (4) в рівняння (5) і отримуємо формулу для визначення віддалі між нижніми вузлами модулів:

$$a_1 = 2 \arcsin [\pi/3 - (\arcsin \beta_1 + \arcsin \beta_2) / 2] \\ \text{або } a_1 = 2 \arcsin [\pi/3 - 1/2 (\arcsin Z_1 - Z_{1-\psi} / 2a + \arcsin Z_i - Z_{i+\psi} / 2a)]. \quad (6)$$

Отримане рівняння (6) дозволяє визначити віддаль між вузлами нижнього пояса ферми при відомих аплікатах вузлових точок верхнього поясу.

А тепер розглянемо вибір ширини опалубного щита в залежності від точності апроксимації. Під точністю апроксимації будемо розуміти максимальне відхилення апроксимуючої прямої від проектної лінії. В нашому випадку апроксимуючою прямою виступає менша сторона опалубного щита, а проектною лінією — переріз оболонки площиною, яка проходить по цій стороні. Рішення цього питання розглянемо на прикладі апроксимації кола радіуса  $R$  вписаною ламаною лінією з заданою точністю апроксимації  $\delta$ .

Оскільки коло радіуса  $R$  проходить через точки  $A, C, D$ , то цей трикутник, для якого створене  $BC$  являється висотою, — вписаний.

Використовуючи відоме співвідношення для вписаного трикутника,

$$\frac{AB}{BC} = \frac{BC}{BC}. \quad (7)$$

Знайдемо шукану довжину апроксимуючої прямої, що відповідає ширині щита опалубки або ширині модуля несучого елемента.

З рис. 4 видно, що:

$AB = \delta$  — точність апроксимації;

$BC = L/2$  — половина ширини щита;

$BD = 2R - \delta$ , тоді співвідношення (7) можна записати у вигляді:

$$\frac{2\delta}{L} = \frac{L}{(4R - 2\delta)} \Rightarrow L = \pm \sqrt{(R\delta - 4\delta^2)}. \quad (8)$$

Формула (8) дає можливість визначити шукану ширину опалубного щита при заданій

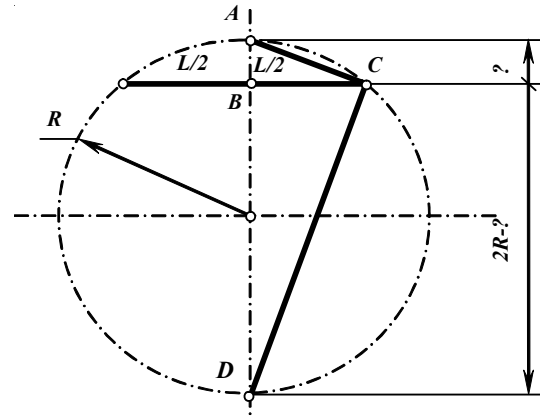


Рисунок 4. Апроксимації кола радіуса  $R$ .

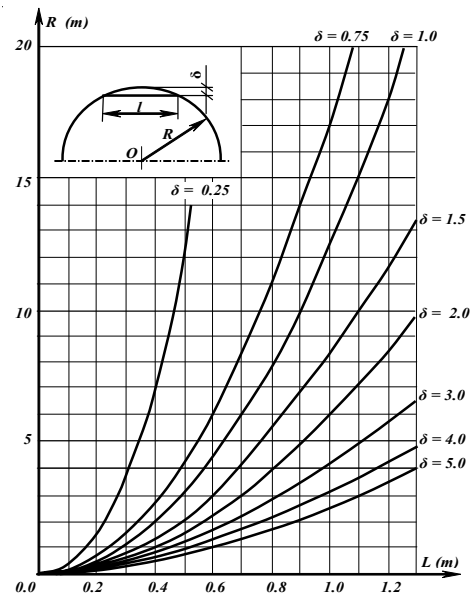


Рисунок 5. Графік оптимальної ширини щита.

точності апроксимації і відомому радіусу описаного кола.

Для рішення практичних задач, які виникають в процесі проектуванні щитової опалубки, можна використати побудовані на основі формули (8) графіки, які дають можливість вибрати оптимальну ширину щита в залежності від точності апроксимації. Для визначення максимальної ширини щита з допомогою графіка (рис. 5), по вертикалі відкладаємо заданий радіус і проводимо горизонтальну лінію до перетину з кривою  $\delta$ , яка відповідає за точність апроксимації. Координата точки перетину по осі  $L$  буде відповідати максимальній ширині щита, яку можна вибрати при заданій точності апроксимації.

Наприклад, для криволінійної поверхні з радіусом десять метрів при точності апроксимації 15 міліметрів максимальна ширина щита дорівнює 1,1 метра.

### Висновки

При проектуванні щитової опалубки для криволінійних поверхонь виникає необхідність розрахунку несучих та формоутворюючих елементів опалубки.

Враховуючи показники міцності жорсткості як основні конструктивні вимоги, розроблено варіант несучого елемента у вигляді ферми зі змінною геометрією, що дає можливість змінювати розмір перекритого прольоту і змінювати кривину верхнього пояса по довжині несучого елемента, а також застосування стержневаних ферм при створенні опалубки для вантових покриттів з встановленням троса, що дає можливість моделювати плоску криву на заданій поверхні і має при цьому достатню жорсткість для сприйняття навантажень.

Враховуючи сьогоденний стан наукового підходу по даному питанню, комплексу розв'язання задач, перспективи розвитку в цьому напрямі проглядаються дуже прозорі.

### Література

1. Опалубка разборно-переставная мелкощитовая инвентарная для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 23477-79. — Введ. с 01.01.80. — Изд. офиц. — М. : Изд-во стандартов, 1990. — 4 с.
2. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Спеціальні розділи. Випуск 1 / С. М. Ковальов, М. С. Гумен, С. І. Пустюльга [та ін.] — Луцьк : Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2006. — 256 с.
3. Лелик, Я. Р. Автоматизоване проектування уніфікованої щитової опалубки просторових криволінійних покриттів : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. / Лелик Я. Р. — К., 1982. — 182 с.
4. Лелик, Я. Р. Врахування виробничих та геометричних факторів при проектуванні опалубки [Електронний ресурс] / Я. Р. Лелик, В. Г. Грищенко // Наукові нотатки. — 2008. — Вип. 22, Том 1. — С.187–193. — Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nn/2002\\_2009/statti/vup22/22-1/33.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Nn/2002_2009/statti/vup22/22-1/33.pdf).
5. Лелик, Я. Р. Дослідження геометричних характеристик формоутворюючого елемента щитової опалубки / Я. Р. Лелик, В. В. Нікуліна. — Харків, 2009. — 29 с.
6. Шарашевский, И. А. Конструирование гражданских зданий / И. А. Шарашевский. — Ленинград : Стройиздат, 1981. — 175 с.
7. Ковалев, С. Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций : дис. ... д-ра тех. наук : 05.01.01 / Ковалев С. Н. — М., 1986. — 348 с.

**Лелик Ярослав Романович** — к. т. н., доцент кафедри образотворчого мистецтва, інституту мистецтв Волинського національного університету ім. Лесі Українки. Наукові інтереси: розрахунок, проектування опалубок для просторових криволінійних поверхонь.

**Берлач Олександр Павлович** — к. арх., доцент кафедри образотворчого мистецтва, інституту мистецтв Волинського національного університету ім. Лесі Українки. Наукові інтереси: розрахунок, проектування опалубок для просторових криволінійних поверхонь, вивчення архітектури фортифікаційних комплексів.

**Лелик Ярослав Романович** — к. т. н., доцент кафедри образотворчого мистецтва, інституту мистецтв Волинського національного університету ім. Лесі Українки. Научные интересы: расчет, проектирование опалубок для пространственных криволинейных поверхностей.

**Берлач Олександр Павлович** — к. арх., доцент кафедри образотворчого мистецтва, інституту мистецтв Волинського національного університету ім. Лесі Українки. Научные интересы: расчет, проектирование опалубок для пространственных криволинейных поверхностей, изучение архитектуры фортификационных комплексов.

**Yaroslav Lelyk** — a Ph. D. (Eng), Associate Professor of Fine Art, Art Institute of Volyn National University, Ukrainian Lesya. His research interests include design, designing the forms for the spatial curved surfaces.

**Alexander Berlach** — candidate of architecture, Associate Professor of Fine Art, Art Institute of Volyn National University, Ukrainian Lesya. Research interests include design, designing the forms for the spatial curved surfaces, studying the architecture of fortification complex.