

**ЗМІЦНЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕКРИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ
БУДІВЕЛЬНОГО ВИГИНУ**

**STRENGTHENING ELEMENTS OF THE OVERLAP BY USING
BUILDING BEND**

Смоляр А.М., к.т.н., доц., (Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси), Мірошкіна І.В., к.т.н., доц., (Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси), Юрченко С.В., асистент, (Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)

Smolyar A.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Cherkasy state technological university, Cherkasy), Miroshkina I.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Cherkasy state technological university, Cherkasy), Yurchenko S.V., assistant, (Cherkasy state technological university, Cherkasy)

В статті розглядається проблема зміцнення плити перекриття за рахунок надання їй геометрії похилої оболонки. Така зміна геометрії дозволяє зменшити товщину плити та площу арматури.

Strengthening of structural elements in construction and technology is an extremely important issue. Such a strengthening is possible through the use of more durable materials, surface treatment of structural elements to improve their strength, the introduction of compressive stresses in some areas of structural elements, for example, placing the pre-tense of rebar in reinforced concrete products. In the article the problem of strengthening slabs by giving it a sloping geometry shell. This change in geometry can reduce the thickness of the slabs and the area fittings.

Ключові слова: плити перекриття з будівельним вигином, напружено-деформований стан плит перекриття, програмний комплекс “Інтеграл”.

Keywords: plates of overlap with building bend, stress-strain state of ceiling plates, “Integral” software complex.

Зміцнення конструктивних елементів у будівництві та техніці є вкрай важливою проблемою. Таке зміцнення можливе за рахунок використання більш міцних матеріалів, обробки поверхонь конструктивних елементів задля підвищення їхньої міцності, введення стискуючих напружень в деяких областях конструктивних елементів, наприклад, розміщення попередньо-напруженої арматури в залізобетонних виробах [1], тощо.

Одним із важливих способів зміцнення елементів будівельних споруд є зміна їхньої геометрії задля потрібної зміни напружено-деформованого стану. Плоску геометрію плит перекриття, наприклад, замінюють на геометрію пологих оболонок. В будівництві така зміна геометрії називається наданням плиті будівельного вигину чи зворотного підйому, сама ж плита називається плитою нульового прогину чи плитою з будівельним вигином.

Ефект від будівельного вигину в балках, плитах перекриття полягає у збільшенні області стискуючих нормальних напружень та зменшенні області і величини додатних нормальних напружень.

Це пов'язано зі значною зміною напружено-деформованого стану плити при набутті нею будівельного вигину, тобто геометрії пологої оболонки.

Для залізобетонних будівельних конструкцій такий ефект дуже позитивний, так як бетон краще працює на стискування, аніж на розтяг, тобто підвищується ефективність використання самого бетону. Покращення роботи бетону дозволяє зменшувати товщину плити, а зменшення розтягуючих напружень – площу армування.

Будівельний вигин широко використовується у сучасному будівництві [2,3]. Ефективність його застосування залежить від технологій зведення плит, а також від досконалості математичної моделі напружено-деформованого стану.

Аналіз першоджерел [2,3] показав, що моделювання роботи плит з будівельним вигином виконується дуже схематично, на рівні формул опору матеріалів, тобто не відображається просторовий характер напружено-деформованого стану. Це означає, що не повністю враховуються властивості плит з будівельним вигином.

В даній роботі пропонується уточнений розрахунок плит з будівельним вигином. Для цього використовується теорія товстих пластин та оболонок [4]. В основі теорії лежить комбінований підхід до розв'язку задач теорії пружності. Спочатку математично

знижується вимірність просторової задачі теорії пружності, а потім редукована задача розв'язується чисельно. Для зниження вимірності рівнянь теорії пружності використовується узагальнений метод скінченних інтегральних перетворень В.К. Чибірякова [5], який є розвитком проєкційного методу І.Н. Векуа [6]. Редуковані рівняння розв'язуються методом дискретної ортогоналізації С.К. Годунова [7].

Перевагою комбінованого підходу до розв'язку задач просторової теорії пружності є незалежність алгоритмів теорії товстих пластин та оболонки від ступеня апроксимації та можливість автоматичного регулювання точності чисельного процесу.

Алгоритми теорії товстих пластин та оболонки реалізовані у вигляді програмного комплексу «Інтеграл», що розроблений у Черкаському державному технологічному університеті на кафедрі будівельних конструкцій. Він дає можливість розраховувати напружено-деформований стан широкого класу об'єктів у постановці просторової задачі теорії пружності неоднорідного тіла.

В якості тестової задачі розглянемо плиту довжиною $l=15$ м, завантажену рівномірно розподіленим навантаженням $q=0,01$ МПа. Товщина плити $h=0,3$ м. Плита виготовлена з бетону марки $B=25$. По краях плита опирається на стіну. Порівняємо два випадки обпирання – у вигляді вільного краю (рис. 1а) та нерухомого у горизонтальному напрямку – затиснутого краю (рис. 1б). Така плита симетрична, тому будемо розраховувати її половину.

Поставлена задача для тонкої плити розв'язана за програмним комплексом «Інтеграл». Розрахункова схема плити приведена на рис.2. Параметри роботи програмного комплексу наступні: ступінь поліноміальної апроксимації $N=10$, кількість точок видачі результатів по довжині плити $K=21$, кількість шарів видачі результатів $S=11$, абсолютна точність інтегрування $ABSER=10^{-6}$, відносна точність інтегрування $RELER=10^{-3}$.

Результатом розрахунку плит є тензор напружень та вектор переміщень. Нормальне напруження σ_x візуалізоване у вигляді ізоліній на рис. 3а з вільним краєм, а на рис. 3б з затисненим. Аналіз компонент напружено-деформованого стану розрахованих плит засвідчує виконання гіпотез теорії тонких пластин. На ізолініях напруження σ_x (рис. 3) маємо нейтральну лінію, що поділяє симетрично товщину пластин.

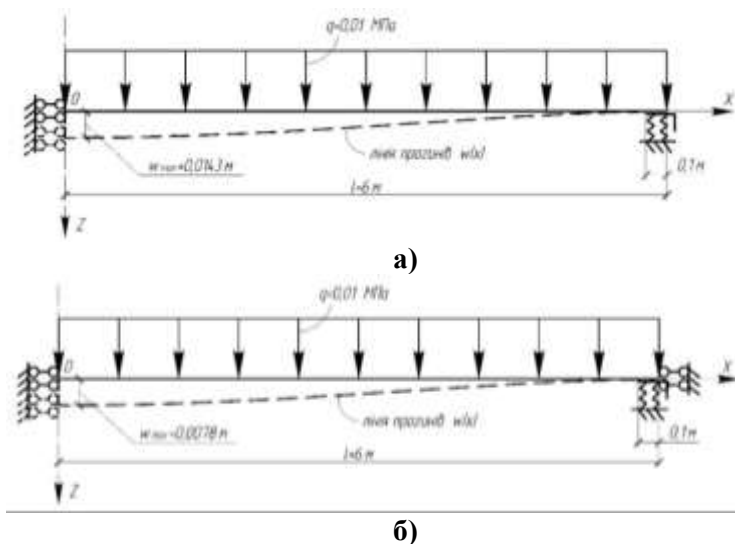


Рис. 1. Схема тонких плит:
а) – вільний край; б) – затиснений край

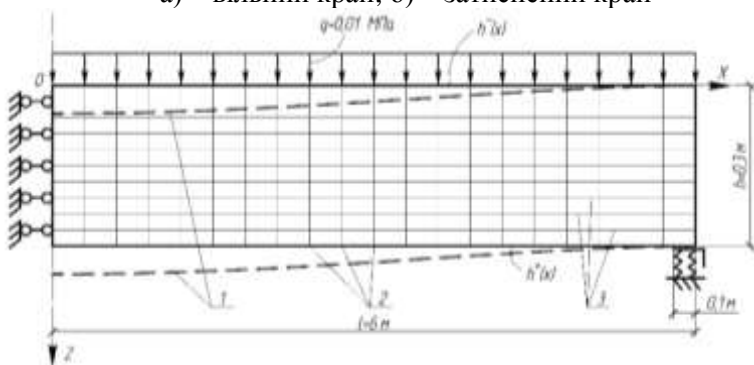


Рис. 2. Розрахункова схема тонких плит:
1 – геометрія деформованої по осі Z тонкої плити;
2 – точки видачі результатів; 3 – шари видачі результатів

Найбільший прогин виникає посередині плити, він дорівнює відповідно $w_{max}=0,0143\text{м}$ та $w_{max}=0,0078\text{м}$. Найбільше нормальне напруження σ_x маємо на бокових поверхнях в центрі плити, воно дорівнює відповідно $\sigma_x=\pm 5,73\text{МПа}$ та $\sigma_{x+}=7,63\text{МПа}$, $\sigma_{x-}=-6,59\text{МПа}$. Величина напруження σ_x визначає товщину плити, а σ_{x+} кількість армури.

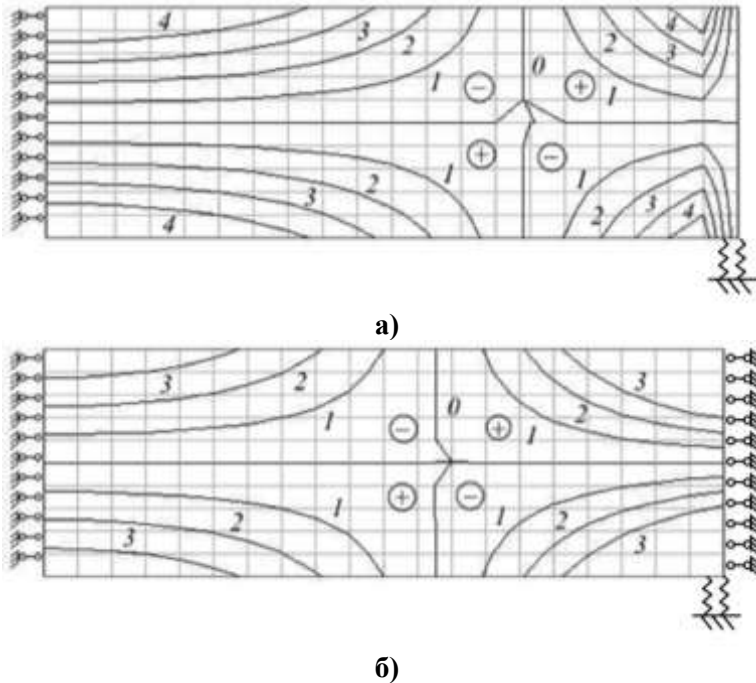


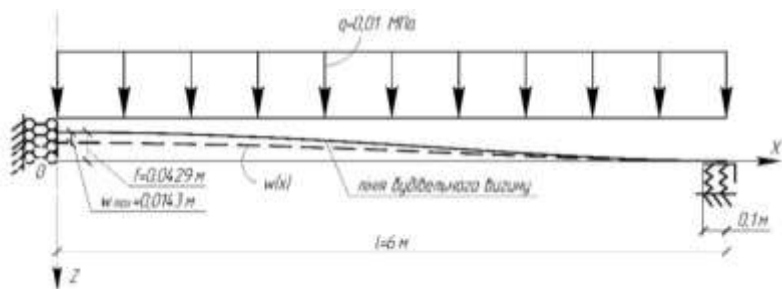
Рис. 3. Ізолінії нормального напруження σ_x для тонких плит, МПа: а) – з вільним краєм; б) – з затисненим краєм

Розглянемо плиту з будівельним вигином. Лінією будівельного вигину є перевернута лінія прогину тонкої плити, ординати якої збільшені приблизно в три рази [8].

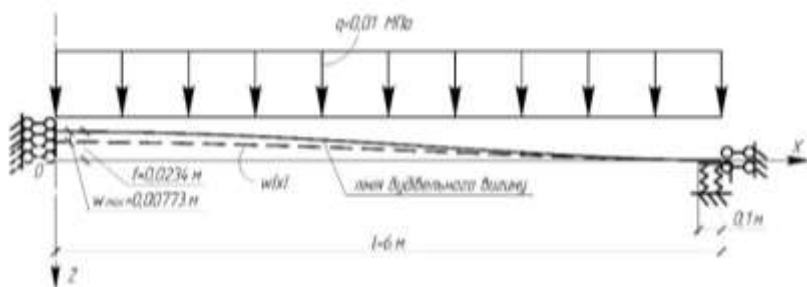
Схема та розрахункова схема плит з будівельним вигином представлені на *рис. 4* та *рис. 5*.

Розрахунок плити з будівельним вигином, як і тонкої плити, виконаний за програмним комплексом «Інтеграл». Вхідні параметри роботи програмного комплексу такі ж, як і в попередній задачі.

Результатом розрахунку плит з будівельним вигином є тензор напружень та вектор переміщень. Нормальне напруження σ_x зображене у вигляді ізоліній на *рис. 6 а* з вільним краєм, а на *рис. 6 б* з затисненим. Аналіз компонент напружено-деформованого стану плит з будівельним вигином вказує на просторовий характер напружено-деформованого стану таких плит.



а)



б)

Рис. 4. Схема плит з будівельним вигином:
а) – вільний край; б) – затиснений край

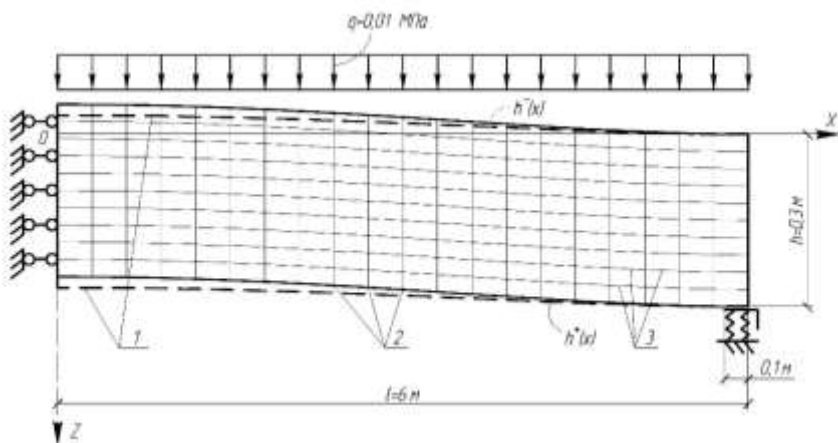


Рис. 5. Розрахункова схема плит з будівельним вигином:
1 – симетрично відображена геометрія деформованої по осі Z тонкої плити; 2 – точки видачі результатів; 3 – шари видачі результатів

Найбільший прогин в центральній частині плит відповідно $w_{max}=0,0143м$ та $w_{max}=0,00416м$ (рис. 4) менший за прогин тонкої плити на 30-35%. Найбільші значення нормального напруження дорівнюють відповідно $\sigma_{x+}=3,8МПа$, $\sigma_{x-}=-4,9МПа$ та $\sigma_{x+}=4,21МПа$, $\sigma_{x-}=-5,53МПа$. Розподіл нормальних напружень на рис. 3 а та рис. 6 а для плити з вільним краєм вказує на зменшення нормальних напружень σ_x на 5%, а додатних напружень на σ_{x+} на 34%. Для плити з затисненим краєм розподіл нормальних напружень σ_x на рис. 3 б та рис. 6 б показує збільшення області від'ємних напружень та зменшення σ_x на 16%, а також на зменшення області додатних напружень σ_{x+} та зменшення їхньої величини на 45%.

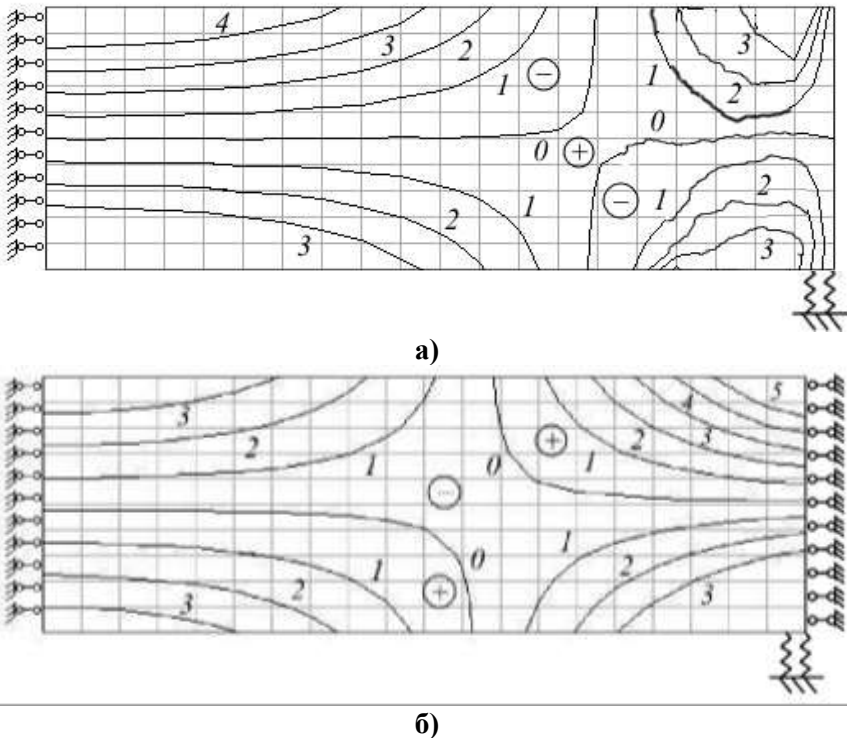


Рис. 6. Ізолінії нормального напруження σ_x для плити з будівельним вигином, МПа:
а) – з вільним краєм; б) – з затисненим краєм

Наведені результати розрахунків плит перекриття з будівельним вигином за програмним комплексом «Інтеграл» показують ефективність будівельного вигину та залежність напружено-деформованого стану плит від умов їхнього опирання.

1. Гольшев А.Б. и другие. Проектирование железобетонных конструкций. Киев Будвельник, 1985, 495 с.

2. Кихья Абдул Хамид. Исследование возможности уменьшения толщины железобетонных плит конструктивным способом // Бетон и железобетон в Украине. – 2009. – Вып. 48. – С. 18–24.

3. Анпилов С. М. Здания с эффективным монолитным безбалочным каркасом. Экспериментальные и теоретические исследования, методы расчета и возведения: Дис. ... д-ра техн. наук. – Самара: РГБ, 2006. – (Из фондов Российской Государственной Библиотеки).

4. Чибіряков В. К., Смоляр А. М. Теорія товстих пластин та оболонок: Монографія. – Черкаси: ЧДТУ, 2002. – 160 с.

5. Чибіряков В. К., Смоляр А. М., Мірошкіна І. В. Узагальнення методу скінченних інтегральних перетворень на розв'язання задачі теорії пружності для дискретно-неоднорідних сферичних оболонок. – Черкаси: Черкаський інж.-технол. ін-т, 1996. – 12 с.

6. Векуа И. Н. Теория тонких пологих оболочек переменной толщины. – Тбилиси: Мецниереба, 1965. – 104 с.

7. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // Успехи математических наук. – 1961. – 16, Вып. 3. – С. 171–174.

8. Smolyar A.M., Miroshkina I.V., Yurchenko S.V. Stress-strain state of zero-deflection plates // Materials Science. – 2015. – Vol.51. – No. 2. – pp.276-280.