

**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 оболонок від ступеня апроксимації та можливість автоматичного регулювання точності чисельного процесу.

Алгоритми теорії товстих пластин та оболонок 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 оперта 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  $\sigma_x$  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  $\sigma_x$  (рис. 3) маємо нейтральну лінію, що поділяє симетрично товщину пластин.

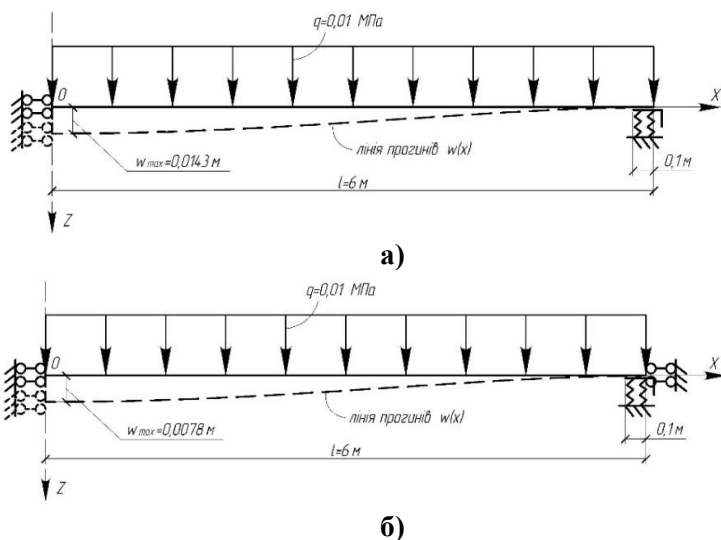


Рис. 1. Схема тонких плит:  
а) – вільний край; б) – затиснений край

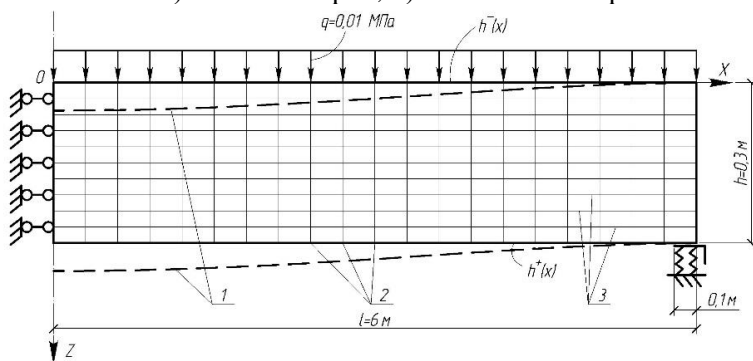


Рис. 2. Розрахункова схема тонких плит:  
1 – геометрія деформованої по осі Z тонкої плити;  
2 – точки видачі результатів; 3 – шари видачі результатів

Найбільший прогин виникає посередині плити, він дорівнює відповідно  $w_{max}=0,0143\text{ м}$  та  $w_{max}=0,0078\text{ м}$ . Найбільше нормальне напруження  $\sigma_x$  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  $\sigma_x$  визначає товщину плити, а  $\sigma_{x+}$  кількість армури.

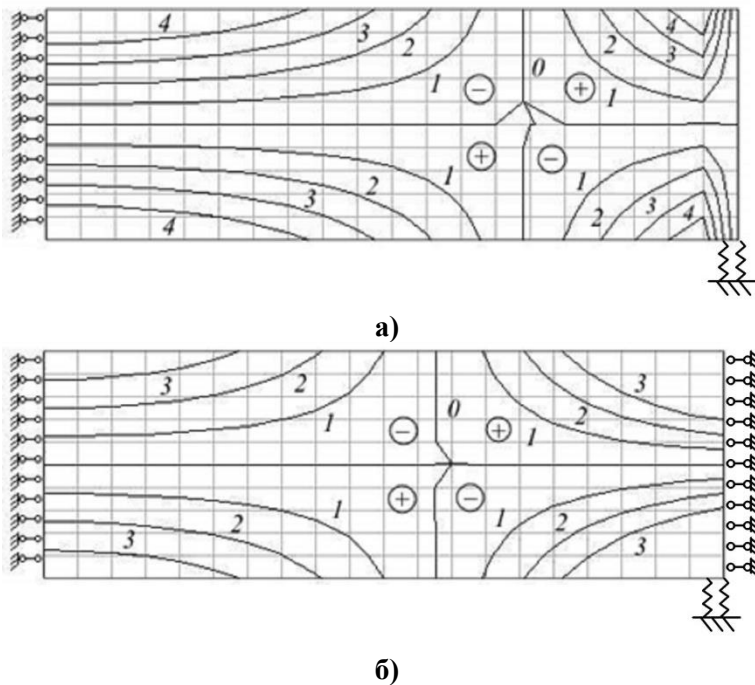


Рис. 3. Ізолінії нормального напруження  $\sigma_x$  для тонких плит, МПа: а) – з вільним краєм; б) – з затисненим краєм

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  $\sigma_x$  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.

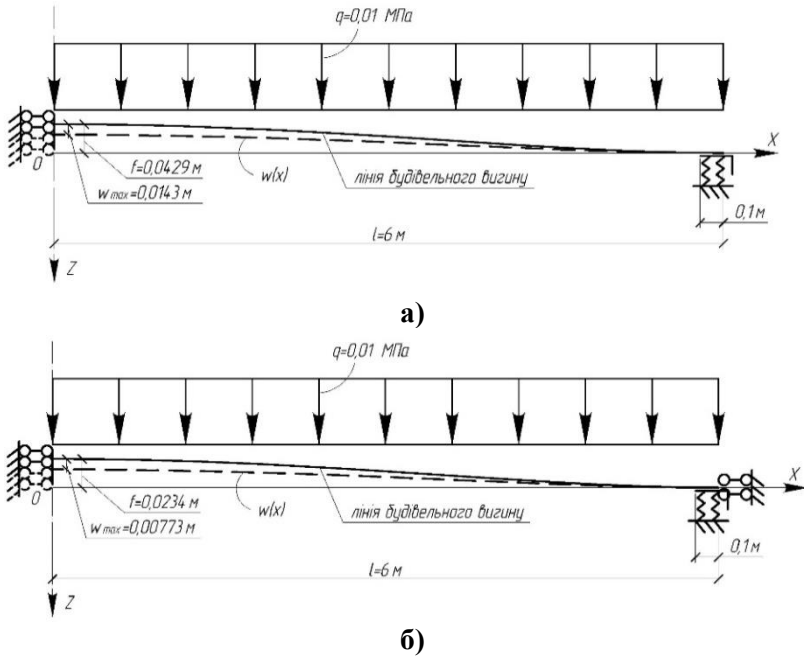


Рис. 4. Схема плит з будівельним вигином:  
а) – вільний край; б) – затиснений край

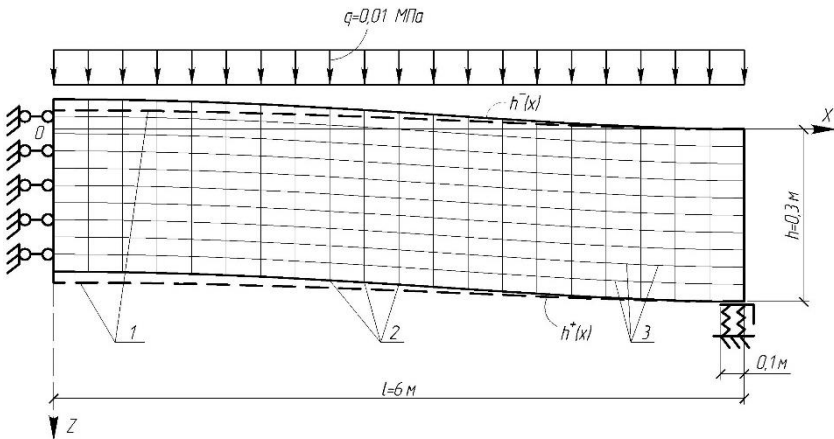


Рис. 5. Розрахункова схема плит з будівельним вигином:  
1 – симетрично відображена геометрія деформованої по осі Z тонкої плити; 2 – точки видачі результатів; 3 – шари видачі результатів

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

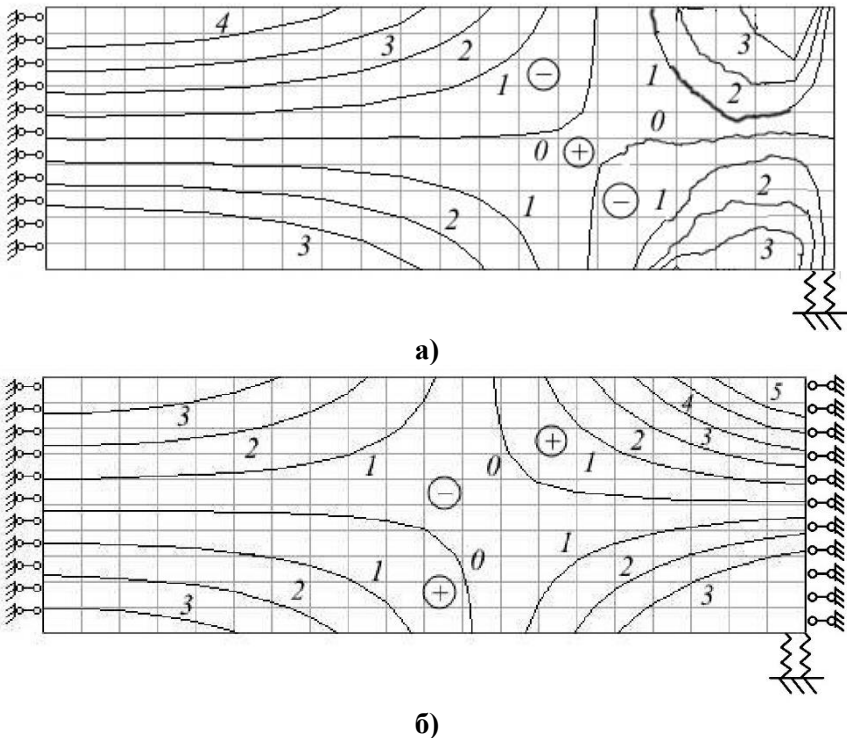


Рис. 6. Ізолінії нормального напруження  $\sigma_x$  для плити з будівельним вигином, МПа:  
а) – з вільним краєм; б) – з затисненим краєм

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.



Наукове видання

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ У  
БУДІВНИЦТВІ**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 5**

Верстка С.О.Ужегов

Редактор В.І.Шваб'юк

Підписано до друку 11 жовтня 2016 р. Формат 60 × 84 1/16.  
Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman. Друк трафаретний.  
Умовн.друк.арк. 23,625. Тираж 100 пр. Зам. №12

Віддруковано РВВ Луцького НТУ, 43018, м.Луцьк, вул. Львівська, 75  
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.

У збірнику висвітлюються результати експериментально-теоретичних досліджень будівельних матеріалів і конструкцій, технологій їхнього виготовлення та експлуатації, теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам, методів їхнього розрахунку.

Призначений для наукових працівників, спеціалістів проектних установ і виробничих підприємств будівельної галузі, докторантів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

#### **Редакційна колегія:**

Головний редактор - **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ);  
Заступник редактора - **Максимович В.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ);  
Відповідальний секретар - **Андрійчук О.В.**, к.т.н. (Луцький НТУ);

**Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (Національний авіаційний університет); **Бондарський О.Г.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Делявський М.В.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (Харківський національний автомобільно-дорожній університет); **Іванченко Г.М.**, д.т.н., професор (Київський національний університет будівництва і архітектури); **Славомир Карась** доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., доцент (Луцький НТУ); **Пустьюльга С.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (Національний транспортний університет); **Солодкий С.Й.**, д.т.н., професор (Національний університет "Львівська політехніка"); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ).

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України  
(свідоцтво серія КВ, № 20340-10140Р від 31.05.2013 р.).

Включений Міністерством освіти і науки України до переліку наукових фахових видань України (Наказ МОН України, № 747 від 13.07.2015 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького національного технічного університету (протокол № 3 від 25 жовтня 2016 р.).

**Адреса редакції:** 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра "Промислове та цивільне будівництво", e-mail: lntu\_pcb@ukr.net, телефон (0332) 26-24-60.

## З М І С Т

### *Сучасні будівельні технології*

Висоцька Л.М., Журавський О.Д., Савенко В.І., Кислюк Д.Я.	Використання ефективних антикорозійних екологічно чистих засобів	3
Задерей П.В., Самчук В.П.	Комп'ютерні технології проектування будівельних конструкцій в AUTODESK INVENTOR	10
Михальков Д.В.	Получение щебня узкофракционного гранулометрического состава как крупного заполнителя для бетона и железобетона	17
Парфентьева І.О., Михальчук Т.Г., Шафранська О.З.	Нові технології швидкого та економічного зведення житлових будинків	25
Сиваченко Л.А. Богданович І.А.	Вибровалковый измельчитель и основы его проектирования	32
Сотник Л.Л. Смаль М.В., Дзюбинська О.В.	Аналіз ефективності використання бетонного брухту при виготовленні ФЕМ	39

### *Ефективні будівельні матеріали, їх властивості та технології виготовлення*

Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Степасюк Ю. О., Ковальчук Т. В.	Проектування складів фібробетону із застосуванням експериментально- статистичних моделей	45
Марко О.Ю., Корбут Е.Е.	Влияние добавки «УКД-1», содержащей углеродный наноматериал, на физические и механические свойства цемента	59
Олех В.В.	Неметалева композитна склопластикова арматура як будівельний матеріал майбутнього	67
Семенюк С.Д., Мельянцова І.І., Кузьміна А.А., Подголін А.Г.	Експериментально-статистическая оценка прочностных и деформативных свойств легкого бетона на основе керамзита заводов Беларуси	74
Чепурна С.М., Жидкова Т.В., Чепурна М.Є.	Підвищення водонепроникності бетонів з добавкою високодисперсною крейдою	85

**Сучасні методи розрахунків у будівництві**

Бондарський О.Г., Руський С.І., Ужегова О.А., Ужегов С.О.	Розрахунок на міцність згинальних елементів таврового профілю	92
Задорожнікова І.В., Ужегова О.А., Ротко С.В., Гордієнко А.В.	Порівняння роботи монолітних балок перекриття в програмному комплексі ЛІРА	100
Клюка О. М.	Скорегований метод розрахунку міцності просторових перерізів звичайно армованих залізобетонних елементів прямокутного профілю з подвійним армуванням при згині з крученням на основі деформаційної моделі	110
Кислюк Д.Я.	Визначення зусиль в двшарнірних залізобетонних арках з врахуванням перерозподілу зусиль при повторних навантаженнях	118
Максимович О.В., Лавренчук С.В.	Визначення напружень біля кругового штампу та тріщин у ізотропній півплощині	126
Мікуліч О.А., Шваб'юк В.І.	Моделювання напруженого стану ґрунтових порід при добуванні сланцевого газу за динамічного удару	137
Нікітюк Ю. В., Ротко С. В.	Розрахунок ізоляції повітряного шуму акустично однорідної перегородки методом побудови частотної характеристики і прямим розрахунком	145
Пасічник Р.В.	Дослідження збіжності розрахунку методом скінченних елементів та методом скінченних різниць	152
Ротко С. В., Шваб'юк В.І., Ротко В.О., Матіяшук А.В.	До проблеми розробки нових неklasичних теорій згину оболонок, пластин і балок. Проблеми та принципи побудови класичної та уточнених деформаційних теорій першого рівня для ізотропних пластин і стрижнів	158
Сунак П.О., Синій С.В., Мельник Ю.А., Боярчук Б.А., Парасюк Б.О.	Визначення надійності ростягнутих сталевобетонних елементів	166

Ужегов С.О.	Дослідження впливу окремих факторів на міцність сталевібробетону методом математичного планування експерименту	174
Шваб'юк В.І., Ротко С.В., Маткова А.В., Шваб'юк В.В.	До проблеми розробки нових неklasичних теорій згину оболонок, пластин та балок. Проблема побудови уточнених деформаційних теорій вищого рівня для оболонок, пластин та балок	184
<b><i>Дослідження і проектування ефективних конструкцій, будівель та споруд</i></b>		
Бабич В.Є., Борейчук Л.М.	Дослідження короточасних прогинів та ширини розкриття тріщин в згинальних залізобетонних елементів	192
Гапонова Л.В., Гребенчук С.С.	Решение температурных задач для неоднородной многослойной конструкции	199
Зятюк Ю.Ю.	Робота залізобетонних балок підсилених у стиснутій та розтягнутій зонах при дії малоциклових навантажень	215
Кичаева О.В., Убийвовк А.В.	Механизм разрушения кирпичной кладки при одноосном сжатии балки-стенки, опирающейся на разномодульные материалы (Экспериментальные исследования)	223
Колякова В.М., Божинський М.О., Фесенко О.А.	Розподіл температури в перерізі залізобетонної плити	232
Конончук О.П.	Дослідження товщини захисного шару та діаметру арматури магнітним методом	240
Масюк Г.Х., Алексієвець І.І., Войтович О.В.	Експериментально-теоретичні дослідження міцності та граничної деформації бетону позакентрово стиснутих залізобетонних елементів за дії малоциклових знакозмінних навантажень	248
Павлюк А.П.	Робота балок з цільної деревини в умовах прямого та косоого згину	259
Пахолук О. А., Яцинський А. Л.	Визначення максимальної швидкості повітряного потоку в забудові	266
Семенюк С.Д., Кумашов Р.В., Кетнер Э.А., Семенюк Е.Я.	Несущая способность плит тормозного участка испытательного полигона РУПП «Белорусский автомобильный завод»	274

Смоляр А.М., Мірошкіна І.В., Юрченко С.В.	Зміцнення елементів перекриття за допомогою будівельного вигину	284
Філіпчук С.В., Караван Б.В., Іванюк А.М., Чапюк О.С., Гришкова А.В.	Дослідження роботи бетонних призм з високоміцних бетонів	292
Чапюк О.С., Філіпчук С.В., Караван Б.В., Гришкова А.В.	Залежність міцності зчеплення пінобетону з композитною склопластиковою арматурою від довжини анкерування	301
<b><i>Технічний стан, реконструкція та підсилення будівель та споруд</i></b>		
Бутенко А.А., Кичаєва О.В.	Уроки аварій сталевих силосов и их фундаментов	308
Главацький О. З.	Архітектурно-просторові характеристики місць підвищеної кримінологічної небезпеки у м. Львові	316
Кух С.П.	Аналіз роботи підсиленних залізобетонних конструкцій при малоциклових навантаженнях	324
Опанасюк І.Л., Данилов С.В.	Восстановление эксплуатационных качеств железобетонных колонн	329
Семенюк С.Д., Ильиных И.В., Кетнер Э.А., Алехнович С.В.	Техническое состояние и рекомендации по восстановлению эксплуатационных качеств крановой эстакады локомотивного депо Могилев	336
<b><i>Енергозберігаючі технології у будівництві.</i></b>		
<b><i>Пасивний будинок</i></b>		
Атинян А.О., Жигло А.А., Буханова Е.С.	Энергосбережение при использовании теплоизоляционных стеновых материалов на основе гипсовых изделий	345
Ільчук Н.І., Шафранська О.З.	Нові технічні рішення ресурсозберігаючих технологій будівництва тунелів в Україні	351
Пахолук О.А., Шимків Т.Ф.	Визначення проблем та особливостей використання відновлюваних джерел енергії, виявлених в результаті проведення енергетичного аудиту будівель у регіонах України	358