



## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ БАГАТОШАРОВИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ НА ПК «ЛИРА»

**Б. Г. Демчина, І. З. Рутковська, Л. І. Вознюк**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

*вул. Бандери 12, м. Львів, Україна, 79046.*

*e-mail: entrance@lp.edu.ua*

*Отримана 26 жовтня 2009; прийнята 27 листопада 2009.*

**Анотація.** Залізобетон - це основний будівельний матеріал, який використовується і змінюється в процесі будівництва. У роботі розглянутий напружено-деформований стан (ПДВ) багатошарових залізобетонних конструкцій, які складаються з несучих шарів, що забезпечують необхідну несучу здатність конструкції, а також з тих, що утеплюють, звукоізоляційних і інших шарів. Проектування даних багатошарових конструкцій утруднене унаслідок недостатності експериментальних і теоретичних даних про їх роботу. У представленій роботі виконані експериментальні дослідження роботи багатошарових плит, проаналізовані отримані зусилля і переміщення. Для аналізу результатів експериментальних досліджень виконані чисельні розрахунки ПДВ багатошарових конструкцій із застосуванням методу кінцевих елементів, реалізованому в ПК «Ліра» і запропонована практична методика розрахунку багатошарових плит. Достовірність пропонованої методики розрахунку багатошарових конструкцій підтверджена прийнятною відповідністю результатів розрахунків до результатів виконаних експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** залізобетон, багатошарова плита, експериментальні і теоретичні дослідження.

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ПК «ЛИРА»

**Б. Г. Демчина, И. З. Рутковская, Л. И. Вознюк**

*Национальный университет «Львовская политехника»*

*ул. Бандеры 12, г. Львов, Украина, 79046.*

*e-mail: entrance@lp.edu.ua*

*Получена 26 октября 2009; принята 27 ноября 2009.*

**Аннотация.** Железобетон - это основной строительный материал, который используется и изменяется в процессе строительства. В работе рассмотрено напряженно-деформированное состояние (НДС) многослойных железобетонных конструкций, которые состоят из несущих слоев, обеспечивающих необходимую несущую способность конструкции, а также из утепляющих, звукоизоляционных и других слоев. Проектирование рассматриваемых многослойных конструкций затруднено вследствие недостаточности экспериментальных и теоретических данных об их работе. В представленной работе выполнены экспериментальные исследования работы многослойных плит, проанализированы полученные усилия и перемещения. Для анализа результатов экспериментальных исследований выполнены численные расчеты НДС многослойных конструкций с применением метода конечных элементов, реализованном в ПК «Лира», и предложена практическая методика расчета многослойных плит. Достоверность предлагаемой методики расчета многослойных конструкций подтверждена приемлемым соответствием результатов расчетов и результатам выполненных экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** железобетон, многослойная плита, экспериментальные и теоретические исследования.

## SECULARITIES OF MULTI-LAYER CALCULATION SLABS OF THE FLOOR ON THE PERSONAL COMPUTER «LIRA»

**B. G. Demchina, I. Z. Rutkovskaja, L. I. Voznjuk**

*National University «Lviv Politekhnik»*

*Bandera street 12, Lviv, Ukraine 79046.*

*e-mail: entrance@lp.edu.ua*

*Received 26 October 2009; accepted 27 November 2009.*

**Abstract.** Reinforced concrete, is a basic building material which is used and changes in the process of building. The tensely-deformed state (TDS) of multi-layer reinforced concrete constructions, which consist of bearings layers, providing necessary bearing ability of construction, is considered in work, as well as of heating, sound-proof and other layers. Designing of examined multi-layer constructions is perplexed because of insufficiency of experimental and theoretical data about their work. Experimental researches of work of multi-layer slabs have been in the full filled presented work, the received efforts and transferences have been analysed. For the analysis of results of experimental researches the numeral calculations of TDS of multi-layered constructions are executed with the use of method of eventual elements, realized in the personal COMPUTER «Lira», and the practical method of calculation of multi-layered flags is offered. Authenticity of the offered method of calculation of multi-layered constructions is confirmed acceptable accordance of results of calculations and to the results of the executed experimental researches.

**Keywords:** reinforced concrete, multi-layer slab, experimental and theoretical researches.

У сучасному будівництві перекриття зазвичай є комплексною конструкцією, що складається з основної частини (наприклад, плити, балки) та ізоляційних шарів підлоги. Застосування багатошарових плит заводського виготовлення з теплоізоляційним шаром з легких бетонів, замість розповсюджених одношарових, утеплених засипкою на пористих заповнювачах, дозволило значно скоротити працевитрати на будівельному майданчику і матеріалоемність конструкцій. Разом з тим, потрібно покращувати характеристики і роботу самих конструкцій.

При доцільному виборі складу окремих шарів можуть бути створені багатошарові конструкції із відмінними статичними і конструктивними властивостями. Проте практичне застосування багатошарових конструкцій затримується через недостатнє вивчення їх роботи.

У діючих нормативних документах розрахунок таких конструкцій не розглядається, тому що даних з багатошарових конструкцій для нормування недостатньо. На сьогодні немає єдиної нормованої теорії розрахунку багатошарових залізобетонних елементів.

Для широкого застосування багатошарових залізобетонних конструкцій потрібні комплексні експериментально-теоретичні дослідні дані їх роботи під навантаженням і розробка прикладних методів розрахунку [1].

В лабораторії НДЛ-23 НУ «Львівська політехніка» були проведені дослідження тришарових залізобетонних плит із середнім шаром із керамзитобетону.

Для реалізації поставленої мети роботи було виготовлено дві серії трьохшарових залізобетонних плит (по три у кожній), 12 бетонних призм, 12 зразків кубів. Дослідні зразки мали довжину 800 мм, ширину 400 мм і висоту 100 мм. Плити заармовані сіткою С-1 з арматури d4 Вр-I, крок 100 мм в обох напрямках.

Короткий опис плит подано нижче:

1. Багатошарова залізобетонна плита з першої серії (армований сіткою С-1 нижній шар):
  - верхній шар – важкий бетон товщиною 20 мм;
  - середній шар – керамзитобетон товщиною 40 мм;
  - нижній шар – важкий бетон товщиною 40 мм;
2. Багатошарова залізобетонна плита з другої серії (армовані сіткою С-1 верхній та нижні шари):



Рис. 1. Стенд для випробувань.

- верхній шар – важкий бетон товщиною 20мм,
- середній шар – керамзитобетон товщиною 40мм;
- нижній шар – важкий бетон товщиною 40мм,

Всі плити бетонувалися в лабораторії НДЛ-23 НУ «Львівська політехніка» з відповідними контрольними кубами та призмами. Склад бетонів серій прийнято: важкий бетон (верхній і нижній шар) кл. В30–Ц:П:Щ=1:1,34:2,2 при В/Ц=0,4; керамзитобетон кл. В12,5 – Ц:П:К= 1:1,43:1 при В/Ц=1,1.

При бетонуванні використовувався цемент LAFARGE Миколаївського цементного заводу марки БЦ П/Б-К-400. Пісок кварцовий Ясинецький без домішок з модулем крупності  $M_s=1,4$ ; щебінь гранітний Селищанського кар'єру Рівненської області фракції 5...10 мм – 45%, 10...20 мм – 55%; керамзит фракції 5-20 мм з смт. Шкло. Випробовування виконували на 30 день з часу бетонування. Після зняття опалубки, очистки верхніх, нижніх і бокових граней монолітних плит дослідну конструкцію перекриття підготували до випробувань.

На бокових, верхніх і нижніх поверхнях плит була виконана розмітка для наклеювання тензодатчиків. Плити опирали на дві опори: рухому і нерухому.

Завантаження плит відбувалося розподіленим навантаженням, прикладеним у восьми точках по всій поверхні плити (рис. 1). Для цього було розроблено систему розподільчих траверс на рухомих і нерухомих опорах, через які навантаження від гідравлічного домкрату потужністю 15 тонн передавалося на сталеві пластини перерізом 100x100мм, які вкладали на шар цементно-піщаного розчину.

Навантаження прикладали етапами по 0,3 кН з витримкою після кожного ступеня 10 хв. З них 5 хв. – до знімання показів приладів і 5 хв. – під час знімання показів. Значення зусилля контролювали зразковим динамометром, а для самоперевірки під однією з сторін плити були передбачені ще два динамометри. Усі вони були попередньо протаровані.

Для запобігання зминання бетону в місцях дії опорних реакцій використовувались розподільчі сталеві пластини.

Прогини плит вимірювалися за допомогою чотирьох індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Два з них встановлені на опорах, а два підводили посередині прольоту до нижньої грані плити з обох сторін. Для більшої точності замірів між індикаторами і зразком прилаштовано скляні пластини на клею. Індикатори були закріплені на металевих штативах.

Деформації бетону в зоні дії максимального згинального моменту по висоті перерізу вимірювали електричними тензодатчиками з базою вимірювання 50 мм. Вони наклеювалися по висоті перерізу, по два на кожний шар, на рівні арматури; два – у зоні стиску на верхній грані; два – у зоні розтягу на нижній грані плити. Покази тензодатчиків знімалися за допомогою електричного вимірювача деформацій АИД-4М і комутуючого пристрою.

Під час експериментів проводили контроль за моментом тріщиноутворення і за розвитком тріщин. Момент тріщиноутворення визначали візуально за допомогою мікроскопа МПБ-2М. Додатковою інформацією про появу тріщин служили стрибки в показях тензодатчиків нижньої зони, через які вони пройшли.

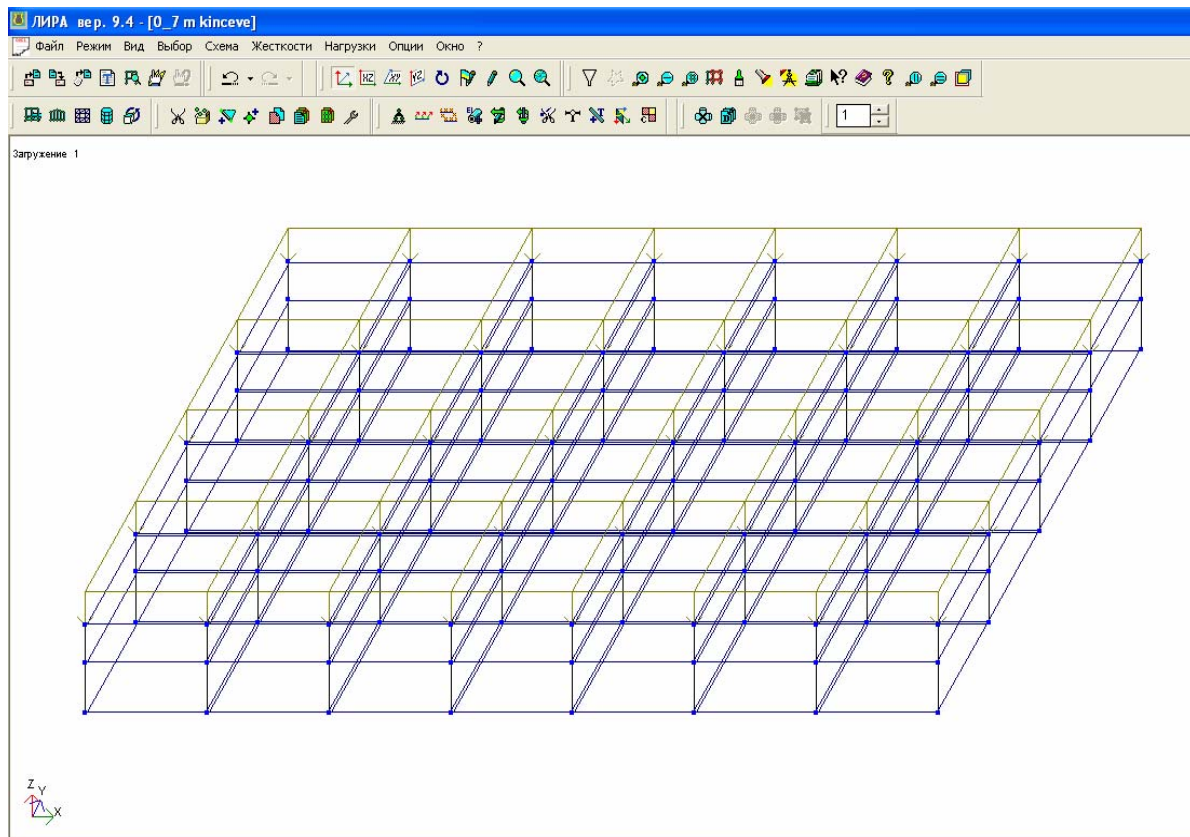


Рис. 2. Розрахункова схема тришарової плити.

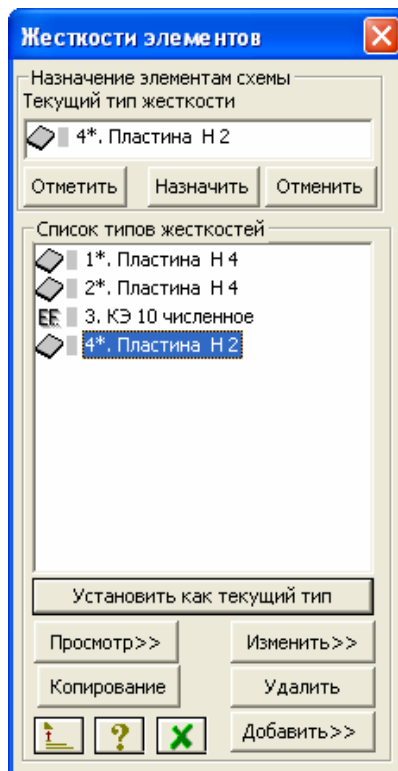


Рис. 3. Жорсткості елементів.

За допомогою мікроскопа замірювали і ширину розкриття тріщин. Відліки за приладами, а також фіксацію розвитку тріщин виконували після кожного ступеня навантаження і заносили в журнал випробовувань.

Обрану схему конструкції під задане навантаження було змодельовано у програмному комплексі для розрахунку і проектування конструкцій «ЛИРА»[2].

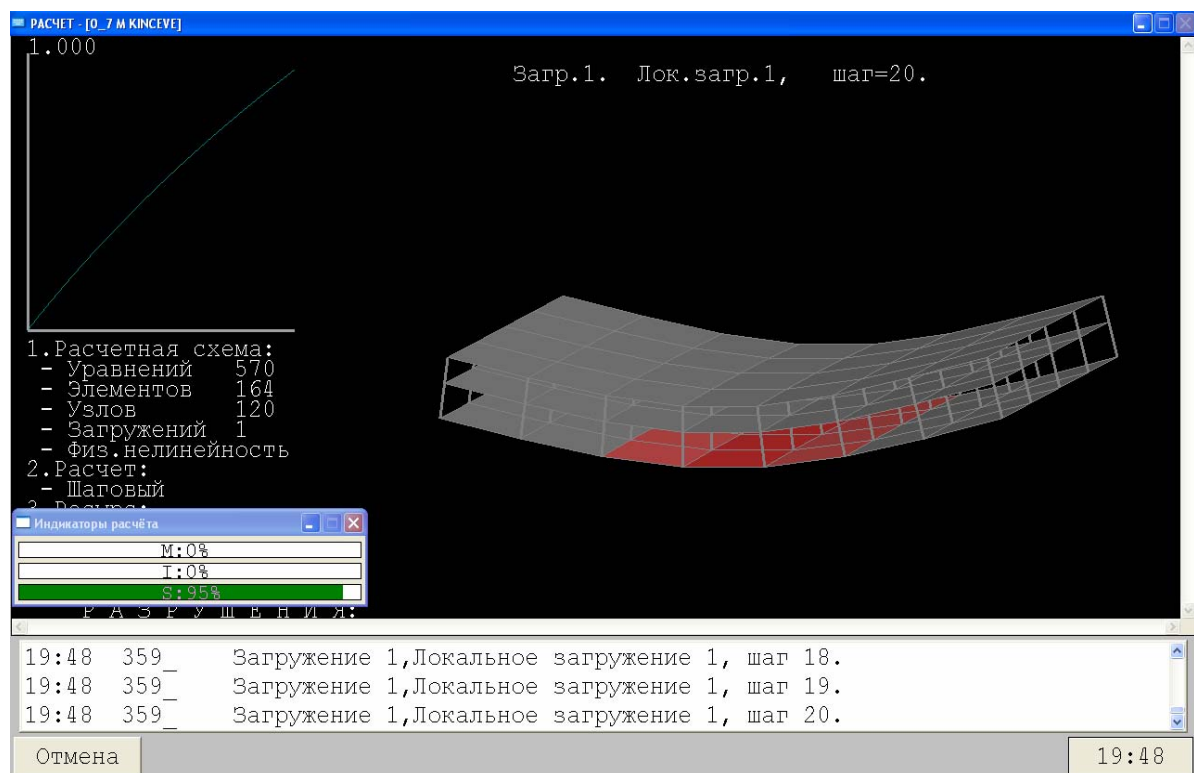
Нелінійний процесор ПК «ЛИРА» призначений для вирішення фізично і геометрично нелінійних задач.

Для вирішення нелінійних задач необхідно задавати інформацію про кількість кроків і коефіцієнтів по навантаженню.

Моделювання фізичної нелінійності матеріалів конструкцій проводиться за допомогою фізично нелінійних кінцевих елементів, котрі черпають інформацію із розвинутої бібліотеки законів деформування. Бібліотека законів деформування дозволяє враховувати практично будь-які фізично-нелінійні властивості матеріалу.

[illegible]

**Рис.4.** Моделювання нелінійних завантажень.



**Рис. 5.** Результат розрахунку.

Таблиця 1. Навантаження на плити.

Величина навантаження, при якому відбулося руйнування		
Плита	Руйнівна сила по експерименту (кН)	Руйнівна сила згідно розрахунку на ПК «ЛІРА» (кН)
П-1	8,38	8,10
П-2	5,88	8,10
П-3	5,25	8,10

На кожному кроці проводиться оцінка напружено-деформованого стану. У розділі розрахунків «Сведения о состоянии материалов» приводяться повідомлення про розвиток або досягнення граничних станів, появу пластичних шарнірів чи руйнування.

Враховуючи ці можливості, ПК «ЛІРА» було змодельовано конструкцію досліджуваної тришарової плити (див. рис. 2).

Шари склалися з прямокутних фізично нелінійних елементів.

Жорсткість кожного шару задавалася окремо згідно матеріалів, закладених у експериментальних зразках. Зчеплення шарів між собою реалізувалося за допомогою елементів із великими значеннями жорсткості. Віддалі між пластинами рівні віддалям між осями шарів плити (рис. 3). Навантаження прикладалися ступенями згідно експерименту по 0,035(кН) у кожній із восьми точок (рис.4,5).

Згідно розрахунку плит першої серії, виконаного у ПК «ЛІРА» встановлено, що руйнування повинне відбутися на 22 кроці завантаження, що відповідає  $22 \times 0,0375 = 0,825$ (кН). Порівняння експериментальних даних із розрахунком у ПК «ЛІРА» показано у таблиці 1.

## Висновок

Розроблена методика дослідження дозволила вивчити роботу тришарових плит на згин при випробуванні статичним навантаженням; детально вивчити процеси старту і розвитку тріщин. Запропонована методика розрахунку на ПК «ЛІРА» дозволяє визначити навантаження, при якому відбувається руйнування і може бути застосована для розрахунку багатшарових конструкцій.

## Література

1. Барашиков А.Я., Журавський О.Д., Сморгалов Д.В. Експериментальні дослідження двошарових плит // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наук. праць. - Вип. 12. - Рівне: НУВГП, 2004. - С. 109–114.
2. Карпенко Н.М. Общие модели механики железобетона. - М.: Стройиздат, 1996. - 461 с.
3. Майборода В.М., Карпук В.Ф. Трехслойные железобетонные конструкции. - К.: Будівельник, 1990. - 144 с.
4. Пирадов К.А., Доркин В.В., Гузеев Е.А., Пирадова О.А., Казанцева О.Ю. Развитие трещин по зоне контакта разномодульных материалов // Известия ВУЗов: Строительство. - 1996. №5. - С. 105–107.
5. ПК «ЛИРА 9.4».
6. Штамм К., Витте Х. Многослойные конструкции. Пер. с нем. Т.Н. Орешкиной. - М.: Стройиздат. 1983. - 300 с.

**Демчина Богдан Григорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Будівельні конструкції та мости» Національного університету «Львівська політехніка». Академік будівництва України. Наукові інтереси: вогнестійкість залізобетонних та дерев'яних конструкцій; створення та дослідження нових вогнестійких матеріалів; дослідження міцності дощатоклеєних конструкцій; дослідження та проектування буронабивних паль та паль, що вдавлюються в ґрунт; дослідження та проектування пінобетонних конструкцій.

**Рутковська Ірина Зіновіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції та мости» Національного університету «Львівська політехніка». Наукові інтереси: напружено-деформований стан збірно-монолітних кесонних перекриттів; дослідження багатопалубових конструкцій покриття та перекриття.

**Вознюк Леонід Іванович** – аспірант кафедри «Будівельні конструкції та мости» Національного університету «Львівська політехніка». Наукові інтереси: напружено-деформований стан та дослідження багатопалубових конструкцій покриття та перекриття.

**Демчина Богдан Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и мосты» Национального университета «Львівська політехніка», академик Академии строительства Украины. Научные интересы: огнестойкость железобетонных и деревянных конструкций; исследование новых огнестойких материалов; исследование надежности дощатоклеенных конструкций; исследование и проектирование буронабивных свай и свай, вдавливаемых в грунт; исследование и проектирование пенобетонных конструкций.

**Рутковская Ирина Зиновьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и мосты» Национального университета «Львівська політехніка». Научные интересы: напряженно-деформированное состояние сборно-монолитных кесонных перекрытий; исследование многослойных конструкций покрытий и перекрытий.

**Вознюк Леонид Иванович** – аспирант кафедры «Строительные конструкции и мосты» Национального университета «Львівська політехніка». Научные интересы: напряженно-деформированное состояние и исследование многослойных конструкций покрытий и перекрытий.

**Demchyna Bogdan Grygorovych** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the «Building Constructions and Bridges» Chair, Lviv Polytechnic National University, Academician of Ukrainian Building Academy. Scientific interests: fire resistance of the reinforced concrete and wooden constructions; investigation of new fire-proof materials; investigation of reliability of sticky plank constructions; research and designing of hammer derrick piles and piles pressing into a soil; investigation and designing of foam-concrete constructions.

**Rutkovska Iryna Zinoviivna** – Ph.D., Ass. Prof. of the «Building Constructions and Bridges» Chair, Lviv Polytechnic National University. Scientific interests: the tense-deformed state of the caisson floors, investigation of the multilayer covering and floors constructions.

**Voznuk Leonid Ivanovych** – post graduate student «Building Constructions and Bridges» Chair, Lviv Polytechnic National University. Scientific interests: investigation of the tense-deformed state of multilayer coverings and floors constructions.