

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПОПЕРЕДНЬО-НАПРУЖЕНИХ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ПЛИТ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМУ ЗГІНІ

*У статті наведено результати чисельних досліджень міцності і деформативності сталевібробетонних двоосно попередньо-напружених плит при дії поперечного навантаження в порівнянні з експериментальними даними.*

*Ключові слова: сталевібробетон, двоосно попередньо-напружені плити, втрати попереднього напруження, скінчені елементи.*

*There are given the results of numerous studies strength and deflection of steel fiber reinforced concrete biaxially prestressed slabs under the action of transverse load in comparison with the experimental results.*

*Keywords: steel fiber reinforced concrete, biaxially prestressed slabs, prestressing loss, finite elements.*

**Вступ.** Впровадження нових високоміцних матеріалів з високими деформативними характеристиками, одним з яких є сталевібробетон, вимагає інструменту, який би дозволив проектувальнику виконати моделювання роботи будівельної конструкції з цього матеріалу, що з достатньою точністю відповідає її реальній роботі.

Одним з таких програмних комплексів, який дозволяє моделювати роботу конструкцій з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності [1, 2] є програмний комплекс «ЛИРА-САПР».

**Мета досліджень.** Порівняння результатів чисельних досліджень одно- та двоосно попередньо-напружених сталевібробетонних плит з різними рівнями обтиску з практичними.

**Практичні дослідження.** Для практичних досліджень виконано дві серії плит розміром 800×800×40 мм с різним фібровим армуванням. Зразки серії I армувались сумішшю сталевих фібр марки STAFIB 50/1.0 та STAFIB 30/0.6 із анкерами на кінцях, процентне відношення яких становило по 0,5% по об'єму кожної фібри. Зразки серії II містили 1,0% по об'єму хвилястих фібр марки

NOVOKON URW 50/1.0. Для всіх зразків був використаний портландцемент марки М400, а як дрібний заповнювач – кварцовий пісок. Склад сталевібробетону по об'єму був прийнятий у пропорції 1:3 цементу до піску при водоцементному відношенні 0,62.

Спирання плит – шарнірне по чотирьом сторонам на відстані 50 мм від бокових граней плити. Завантаження плити виконувалося 16 зосередженими силами у відповідності до схеми, яка показана на рис. 1. Навантаження виконувалось кроком  $P_1=2$  кН з витримкою 5...8 хв на кожному кроці для вимірювання прогинів.

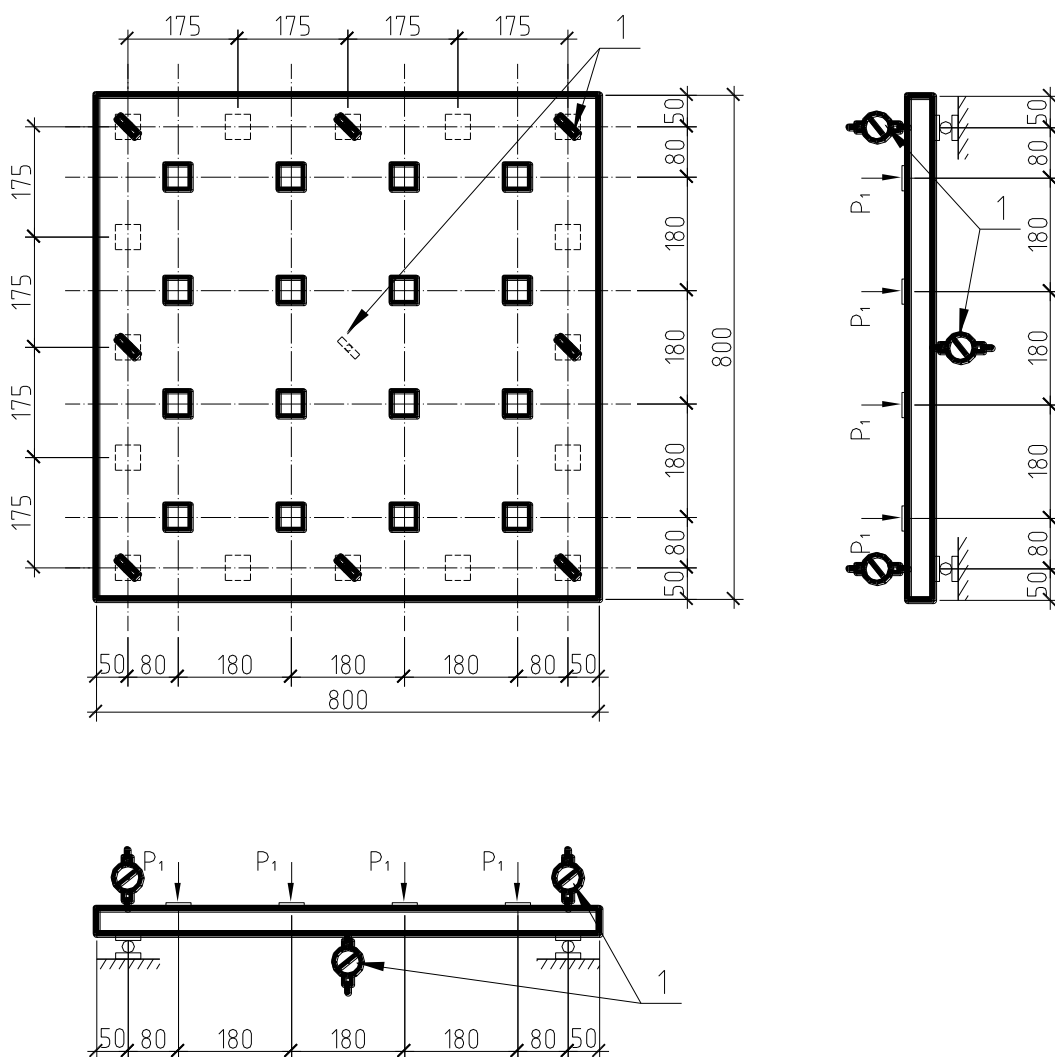


Рис.1. Схема завантаження плити: 1 – індикатори-прогиноміри.

**Чисельні дослідження.** Чисельні дослідження попередньо напружених сталевібробетонних плит виконувалося за допомогою програмного комплексу «ЛИРА-САПР».

Плити моделювалися квадратними та прямокутними скінченими елементами (КЕ) згідно з рекомендаціями [1]. Зусилля попереднього напруження було задано у вигляді зосереджених зовнішніх сил, прикладених у відповідних вузлах (рис. 2). Крок арматури для різних плит по осі X був однаковий і складав 89 мм, а по осі Y коливався від 89 мм до 133 мм. Таким чином, для розрахунку плит було створено дві різні розрахункові схеми, які б враховували нерівномірність прикладення сил обтиску.

Схема 1 створена для плит двохосно обтиснутих плит з однаковим рівнем обтиску та плит одноосно обтиснутих. Схема 2 створена для плит без попереднього напруження і плит з різним рівнем обтиску. Схема 1 складалася з 500 скінчених елементів та 441 вузла, схема 2 – з 624 скінчених елементів та 672 вузла.

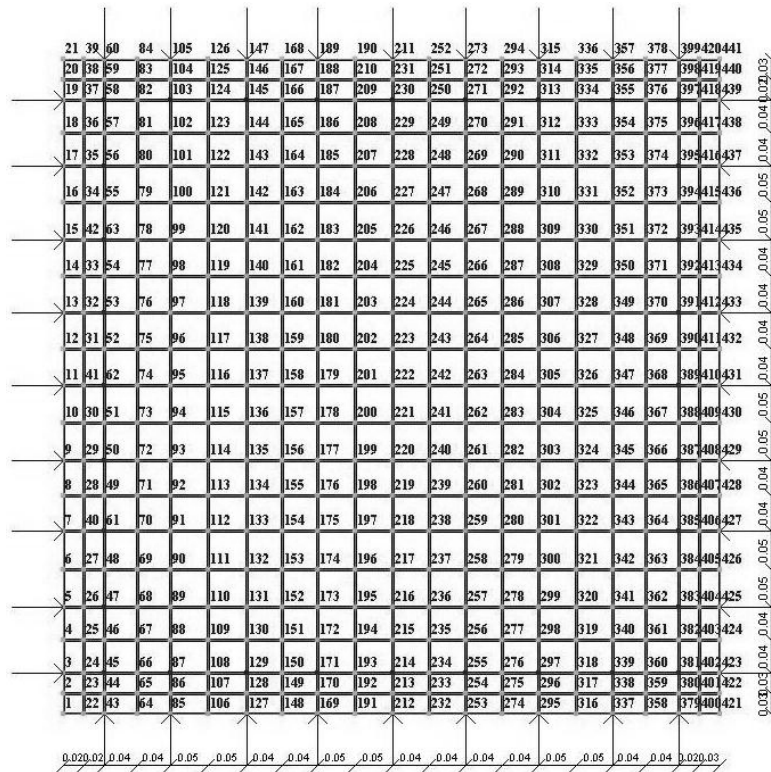
Жорсткість плит задавалась з бібліотеки скінчених елементів ПК «ЛИРА-САПР», який дозволяє враховувати фізичну і геометричну нелінійність при розрахунку. Для розрахунку прийнято наступні позначення вхідних даних:  $h$  – товщина плити;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  $E_{cf}$  – модуль пружності сталевібробетону;  $f_{cd}$  – розрахунковий опір сталевібробетону на стиск (призмova міцність);  $f_{ctd}$  – розрахунковий опір сталевібробетону на розтяг;  $E_s$  – модуль пружності арматури;  $f_{yd}$  – розрахунковий опір арматури на розтяг;  $H_i$  – висота (товщина) ділянки;  $A_{sxi}$  – площа арматури розміщена вздовж осі X на погонний метр перерізу;  $A_{syi}$  – теж саме, вздовж осі Y.

Для моделювання роботи сталевібробетону використовувався кусково-лінійний закон деформування, а для арматури – експоненціальний закон деформування.

Розрахунок здійснювався для навантажень, які відповідають крокам завантаження, а величини зусиль попереднього напруження приймалися по вже

встановленим до початку дослідження напруженням в арматурі з урахуванням усіх втрат [3].

а)



б)

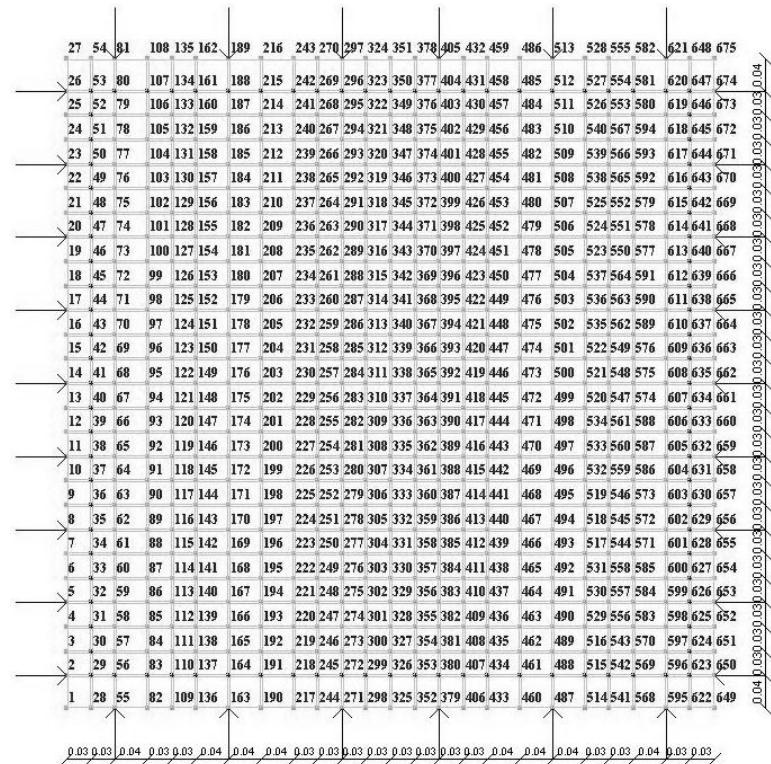
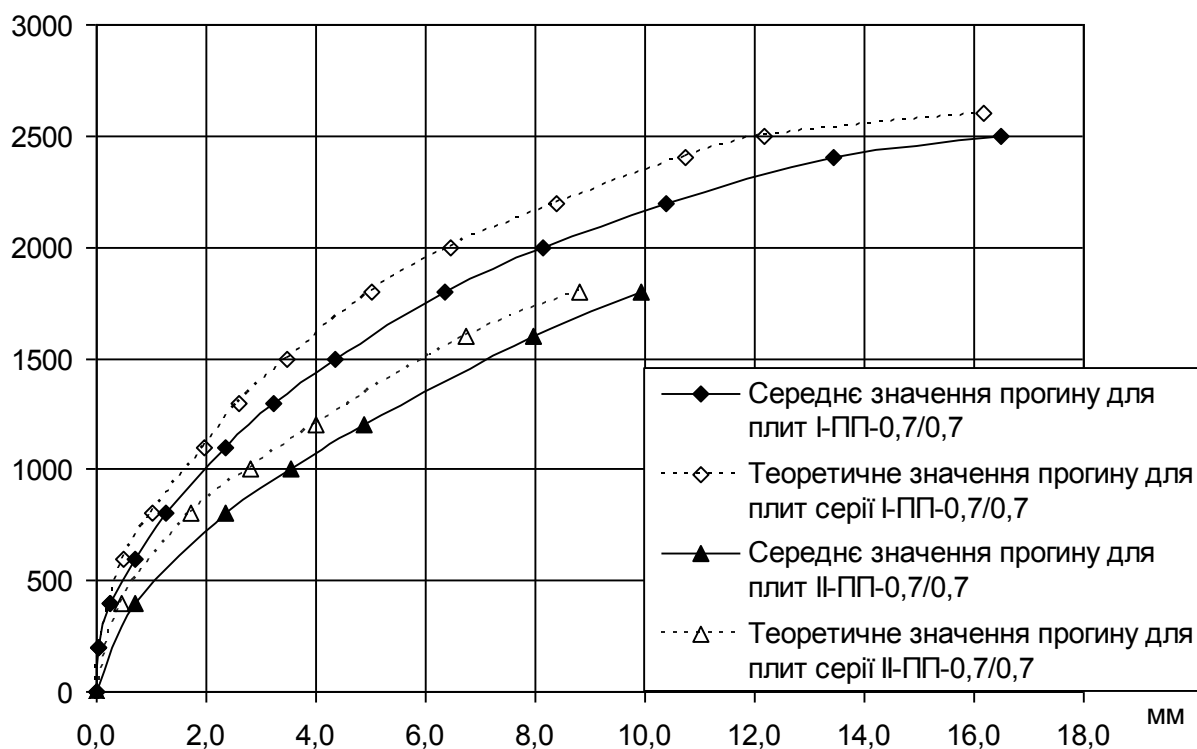


Рис.2. Розрахункова схема дослідної плити побудована в ПК «ЛИРА-САПР»

а)  $P_1, H$



б)  $P_1, H$

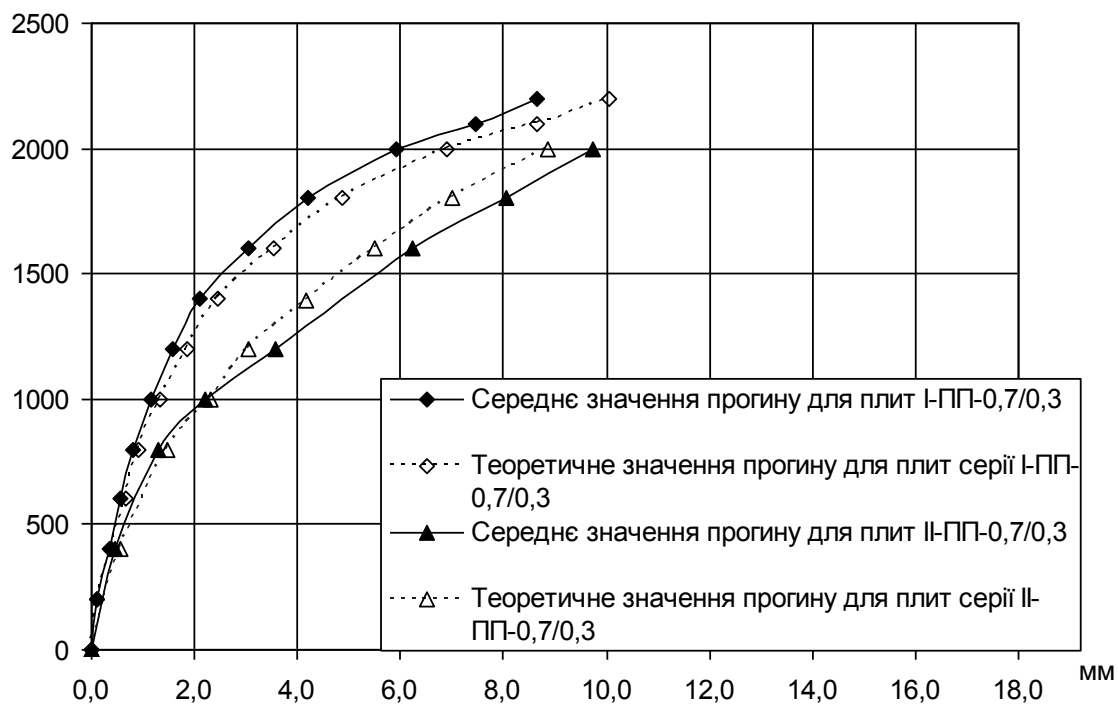
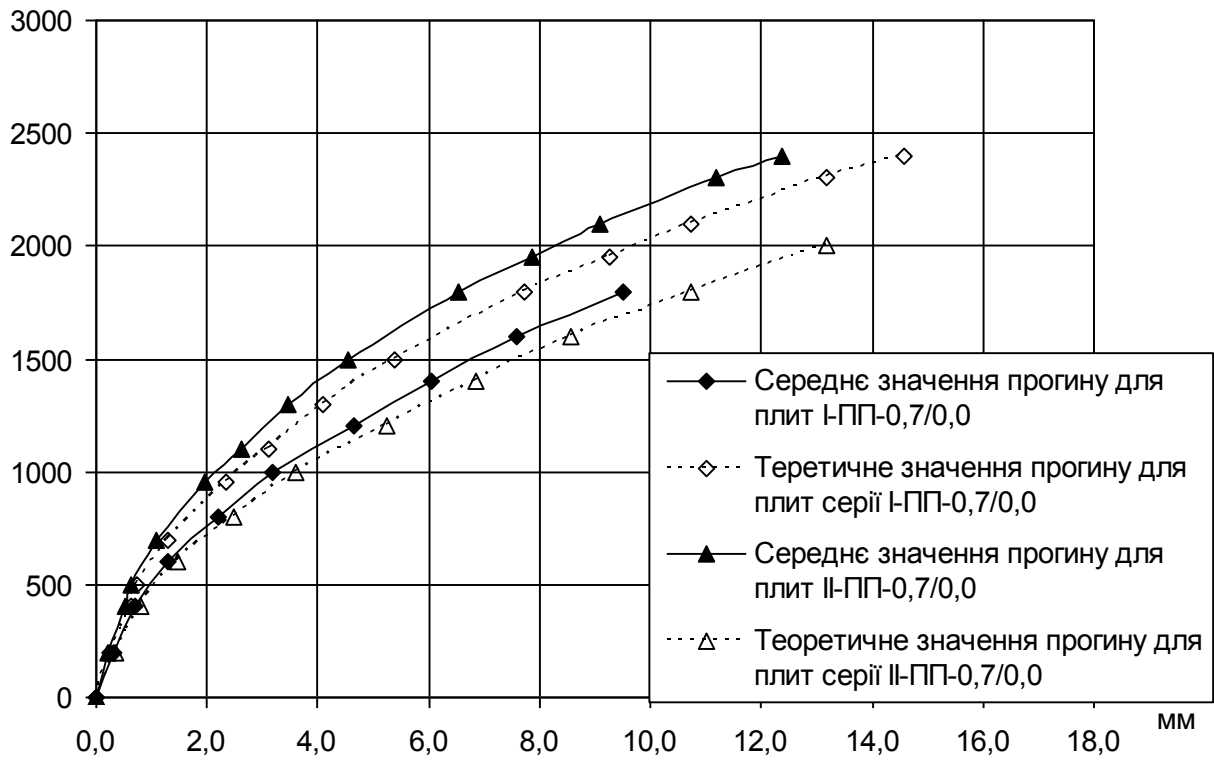


Рис. 2. Графіки прогинів плит серії I та II:  
 а) I-ПП-0,7/0,7; II-ПП-0,7/0,7; б) I-ПП-0,7/0,3; II-ПП-0,7/0,3

а)  $P_1, H$



б)  $P_1, H$

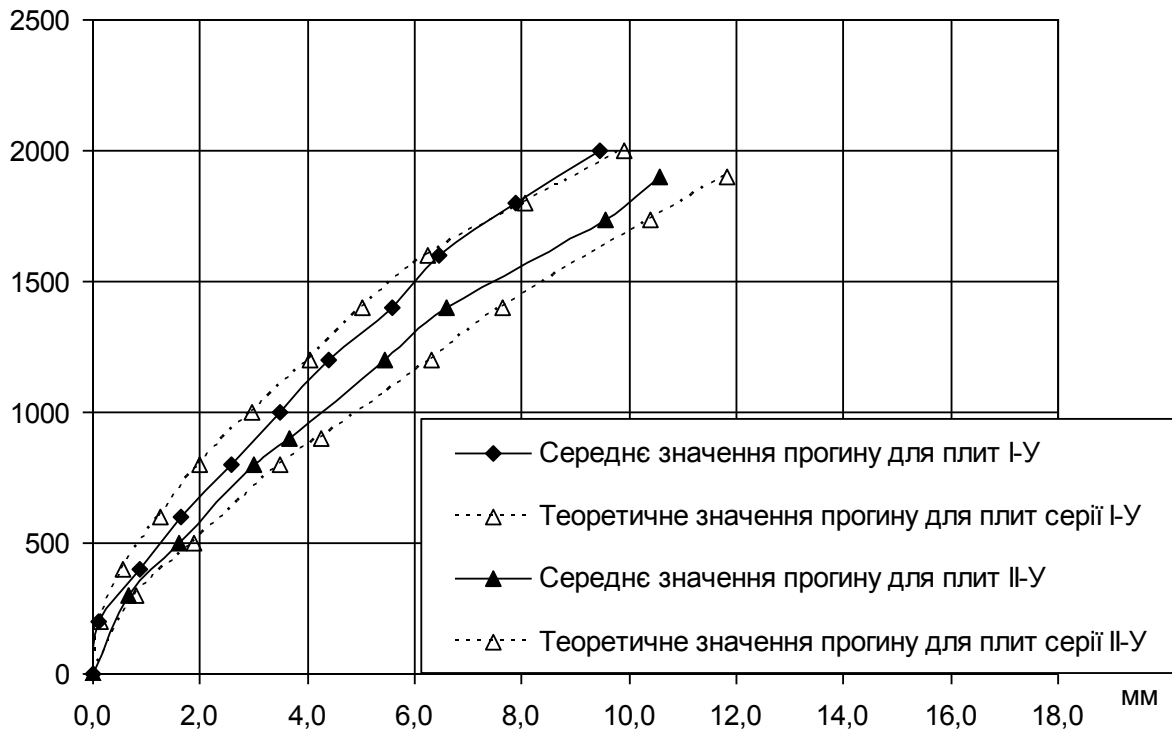


Рис. 4. Графіки прогинів плит серії I та II:  
а) I-ПП-0,7/0,3; II-ПП-0,7/0,3; б) I-Y; II-Y

Теоретичні та експериментальні графіки прогинів наведені на рис. 3 і 4. Аналіз графіків показує достатнє співставлення теоретичних та експериментальних даних.

**Висновки.** ПК «ЛИРА-САПР» дає можливість з достатньою ступеню точності моделювати роботу двохосно попередньо-напружених сталевібробетонних плит.

### **Література**

1. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие / [Д.А.Городецкий, М.С.Барабаш, Р.Ю.Водопьянов и др.]; под редакцией А.С.Городецкого.-М., 2013 г. -376 с.
2. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций (Изд. второе) – К., 2007. - 394 с.
3. Горобець А.М., Журавський О.Д. Експериментально-теоретичні дослідження втрат попереднього напруження в сталевібробетонних конструкціях при одновісному та двовісному обтиску // Теорія і практика будівництва: Вісник НУ «Львівська політехніка». №600. –Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2007, С. 68-74.