

## СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

УДК 624.012

*И. В. Мельник, В. М. Сорохтей, Т. В. Приставский, В. П. Паргута*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ФРАГМЕНТОВ МОНОЛИТНЫХ ПУСТОТЕЛЫХ ПЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЛИРА»

UDC 624.012

*I. V. Melnyk, V. M. Sorokhtey, T. V. Prystavskyy, V. P. Partuta*

### MODELING THE WORK OF FRAGMENTS OF MONOLITHIC HOLLOW REINFORCED CONCRETE SLAB STRUCTURES IN THE LIRA SOFTWARE PACKAGE

#### Аннотация

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований деформативности фрагментов монолитных железобетонных плитных конструкций с трубчатыми вкладышами круглого и квадратного сечения. Для сравнения исследовали работу фрагментов плитных железобетонных конструкций сплошного сечения. В программном комплексе «ЛИРА» опытные образцы моделировались объемными элементами и как пластины. Полученные значения прогибов сравнивались с экспериментальными значениями прогибов 12 опытных образцов, испытанных при различных схемах загрузки: сосредоточенными силами и равномерно распределенной нагрузкой.

#### Ключевые слова:

железобетонные пустотелые плиты, экспериментально-теоретические исследования, прогибы.

#### Abstract

The paper presents the results of theoretical and experimental studies of deformability of fragments of monolithic reinforced concrete slab structures with tubular, round and square inserts. For comparison, the work of fragments of reinforced concrete slab structures of a solid section was also researched. The experimental samples were modeled as volumetric elements and as plates in the LIRA software package. The obtained values of deflection were compared with the experimental deflection values of twelve experimental samples tested under different loading schemes – concentrated forces and uniformly distributed load.

#### Keywords:

reinforced concrete hollow slabs, experimental and theoretical studies, deflection.

#### Введение

Развитие и совершенствование методов расчета различных конструкций остаются приоритетными направлениями научных исследований. Особенно

это касается сложных конструктивных систем, к которым относятся монолитные плоские перекрытия и другие плитные конструкции с пустотообразующими вкладышами.

Монолитные плоские железобе-

© Мельник И. В., Сорохтей В. М., Приставский Т. В., Паргута В. П., 2019

тонные перекрытия находят все более широкое применение в зданиях различного назначения. При значительных пролетах существенной проблемой является собственный вес монолитных перекрытий. Для его уменьшения все чаще используют пустотообразующие вкладыши [1–3].

Все чаще пустотообразующие вкладыши находят применение в фундаментных железобетонных плитах [4]. Такие вкладыши можно использовать также в монолитных пролетных мостовых строениях [5] и в других плитных конструкциях [6]. Вкладышами, которые обеспечивают наибольшую пустотность монолитных железобетонных плит, являются трубчатые элементы различных форм сечения (круглые, квадратные, прямоугольные).

Несмотря на все более частое использование плоских монолитных перекрытий и других плитных конструкций с вкладышами, исследований их работы, связанной в том числе со сложным напряженно-деформативным состоянием в сечениях с полостями, проведено недостаточно.

### **Анализ исследований и публикаций**

Важные теоретические и экспериментальные исследования, связанные с оптимизацией железобетонных конструкций, в частности монолитных плоских перекрытий, проведены в Харькове под руководством В. С. Шмуклера [7]. Теоретические исследования оптимизации, в частности теоретические основы рационализации пластин и плит со сложной внутренней топологией и фундаментальные модели механики конструкций в пределах энергетических принципов, дополнены и развиты в [8].

Е. И. Лугченко [9] выполнила серию экспериментальных и теоретических исследований перфорированных железобетонных балок (балок Виренделя) с одним, тремя и шестью отверстиями, общие деформации которых сравнивались с деформациями сплошной балки.

Результаты экспериментальных исследований трехслойных плит и особенности их расчета с использованием программного комплекса «ЛИРА» представлены в [10]. Плиты имели верхний и нижний слои из тяжелого бетона, средний слой – из керамзитобетона.

### **Цель и задачи исследований**

Промоделировать работу в ПК «ЛИРА» фрагментов полых плоских перекрытий с продольным и поперечным расположением вкладышей круглого и квадратного сечения с использованием различных типов элементов (объемные элементы, пластины) и сравнить их деформативность с экспериментальным значением прогибов опытных образцов при различных схемах их загрузки.

### **Методика и результаты экспериментальных исследований**

Для расчета монолитных плоских перекрытий и других плитных конструкций с внутренними полостями можно использовать следующие типы элементов ПК «ЛИРА»: объемные элементы; стержневые элементы; пластины (оболочки).

Моделирование работы полых плит объемными элементами наиболее соответствует сущности такого перекрытия, поскольку полностью отражает его геометрическую структуру.

Однако опыт показал, что такое моделирование является весьма трудоемким. Это связано с тем, что монолитные перекрытия, в отличие от сборных, являются нетипичными и, как правило, индивидуальными в планировочных решениях. Поэтому почти для каждого монолитного перекрытия с вкладышами необходимо задавать свою конструктивную схему с отображением общей статической схемы перекрытия (условий опирания, расстояния между



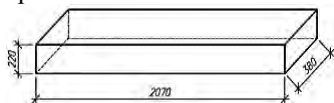
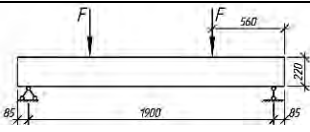
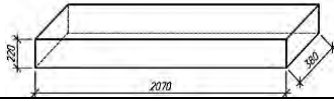
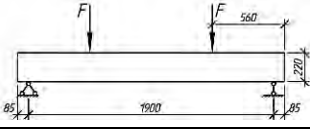
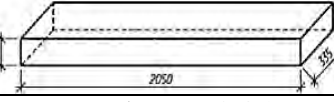
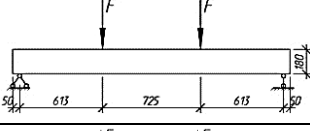
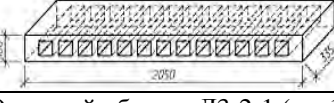
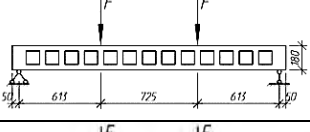
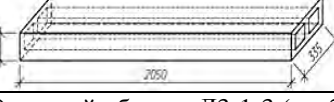
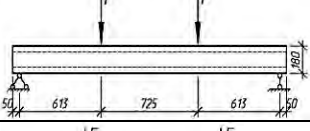
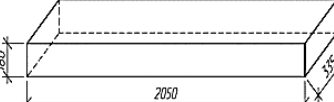
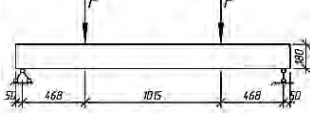

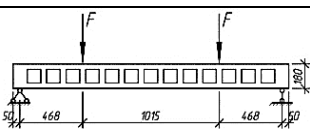
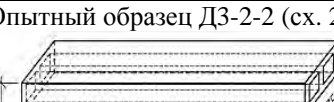
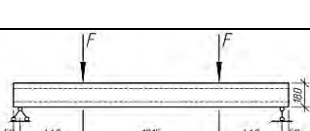

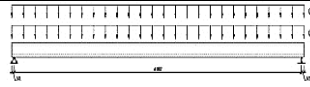

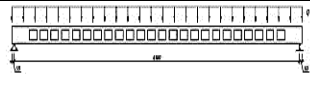
опорами), форм, размеров и шага вкладышей и др.

С целью обоснования возможности использования ПК «ЛИРА» для расчета плитных конструкций как пластинчатых элементов выполнена эксперименталь-

ная проверка на фрагментах перекрытия с вкладышами, а также на сплошных плитных железобетонных элементах.

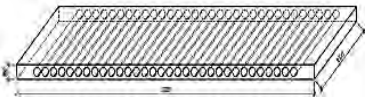
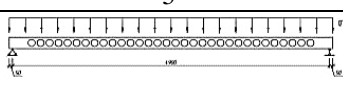
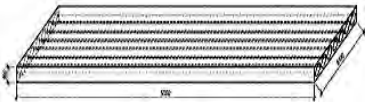

Характеристика опытных образцов и схемы их загрузки представлены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристика опытных образцов

Номер образца	Общая конструкция (геометрические размеры)	Характеристика материалов		Схема загрузки
		Арматура	Бетон	
1	2	3	4	5
1	Перемычка 8 ПП 21-71 	A400c	C 16/20 $f_{ck} = 20,3 \dots 20,7$ МПа	
2	Перемычка 6 ПП 18-71 	A400c	C 16/20 $f_{ck} = 20,3 \dots 20,7$ МПа	
3	Опытный образец ДЗ-1-1 (сх. 1) 	A400c $f_{yk} = 476$ МПа	C20/25 $f_{ck} = 20,9$ МПа	
4	Опытный образец ДЗ-4-1 (сх. 1) 	A500c $f_{yk} = 539$ МПа	C20/25 $f_{ck} = 20,9$ МПа	
5	Опытный образец ДЗ-2-1 (сх. 1) 	A500c $f_{yk} = 539$ МПа	C20/25 $f_{ck} = 20,9$ МПа	
6	Опытный образец ДЗ-1-3 (сх. 2) 	A500c $f_{yk} = 539$ МПа	C20/25 $f_{ck} = 20,9$ МПа	
7	Опытный образец ДЗ-2-10 (сх. 2) 	A500c $f_{yk} = 539$ МПа	C20/25 $f_{ck} = 20,9$ МПа	
8	Опытный образец ДЗ-2-2 (сх. 2) 	A500c $f_{yk} = 539$ МПа	C20/25 $f_{ck} = 20,9$ МПа	
9	Опытный образец ПФ-1 	A500c $f_{yk} = 553$ МПа	C25/30 $f_{ck} = 26,1$ МПа	
10	Опытный образец ПФ-2 	A500c $f_{yk} = 553$ МПа	C25/30 $f_{ck} = 26,1$ МПа	



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
11	<p>Опытный образец ФП-1</p> 	<p>A500c <math>f_{yk} = 520</math> МПа</p>	<p>C20/25 <math>f_{ck} = 23,2</math> МПа</p>	
12	<p>Опытный образец ФП-2</p> 	<p>A500c <math>f_{yk} = 520</math> МПа</p>	<p>C20/25 <math>f_{ck} = 23,2</math> МПа</p>	

Результаты исследований представлены в виде графиков прогибов как интегрирующей величины деформаций по всей длине исследуемых элементов.

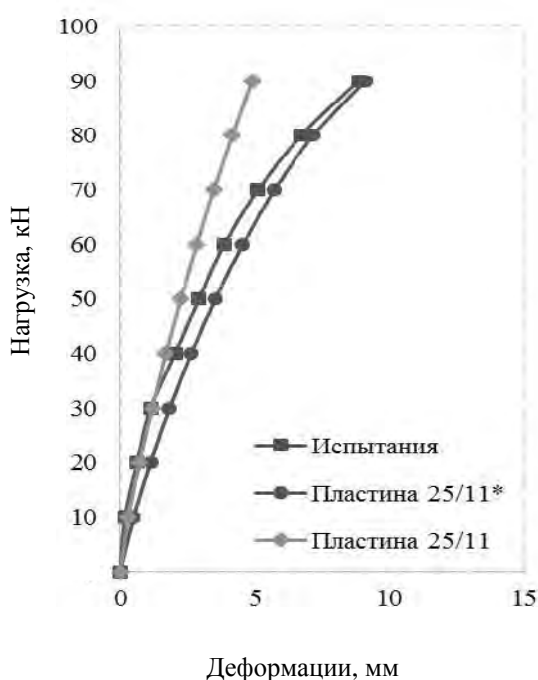
Экспериментальные значения прогибов сравнивались с теоретическими, построенными по результатам компьютерного моделирования в ПК «ЛИРА». Прорабатывали два варианта моделирования: первый – с использованием объемных элементов; второй – с использованием пластинчатых элементов.

При моделировании объемными элементами использовали диаграммы нели-

нейного деформирования бетона и арматуры. Как видно из графиков, для всех рассмотренных опытных образцов имеем хорошую или удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

При расчетах опытных образцов как пластины с фактическими значениями модуля упругости бетона получаем значительные отклонения теоретических прогибов от экспериментальных (рис. 1–6). При условном снижении модуля упругости бетона сходимость теоретических и экспериментальных прогибов является лучшей.

а)



б)

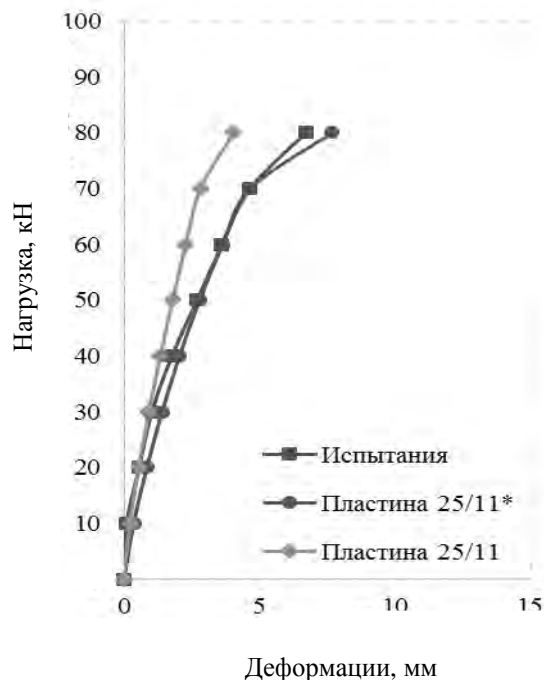


Рис. 1. Графики прогибов опытных образцов: а – марки 8ПП-21-71; б – марки 6ПП-21-71



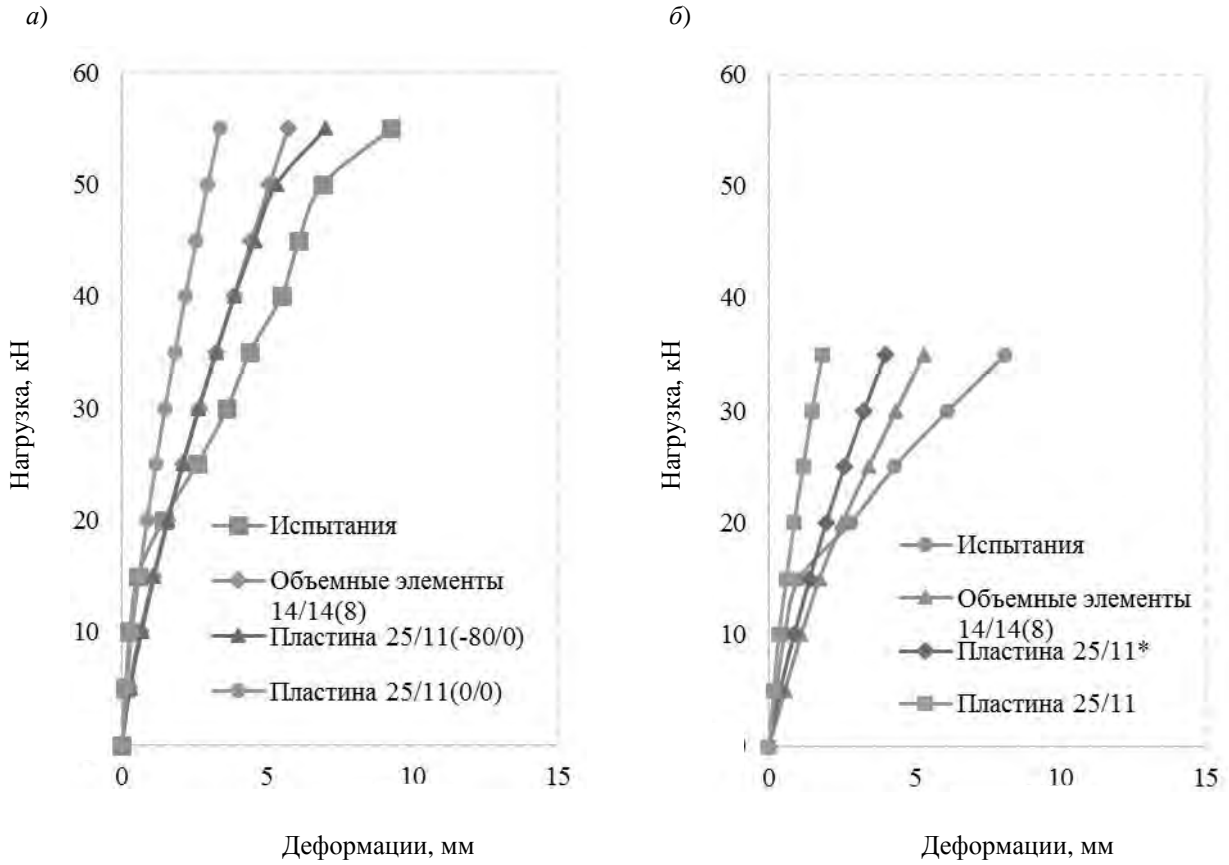


Рис. 2. Графики прогибов опытных образцов: а – марки ДЗ-2-1; б – марки ДЗ-4-1

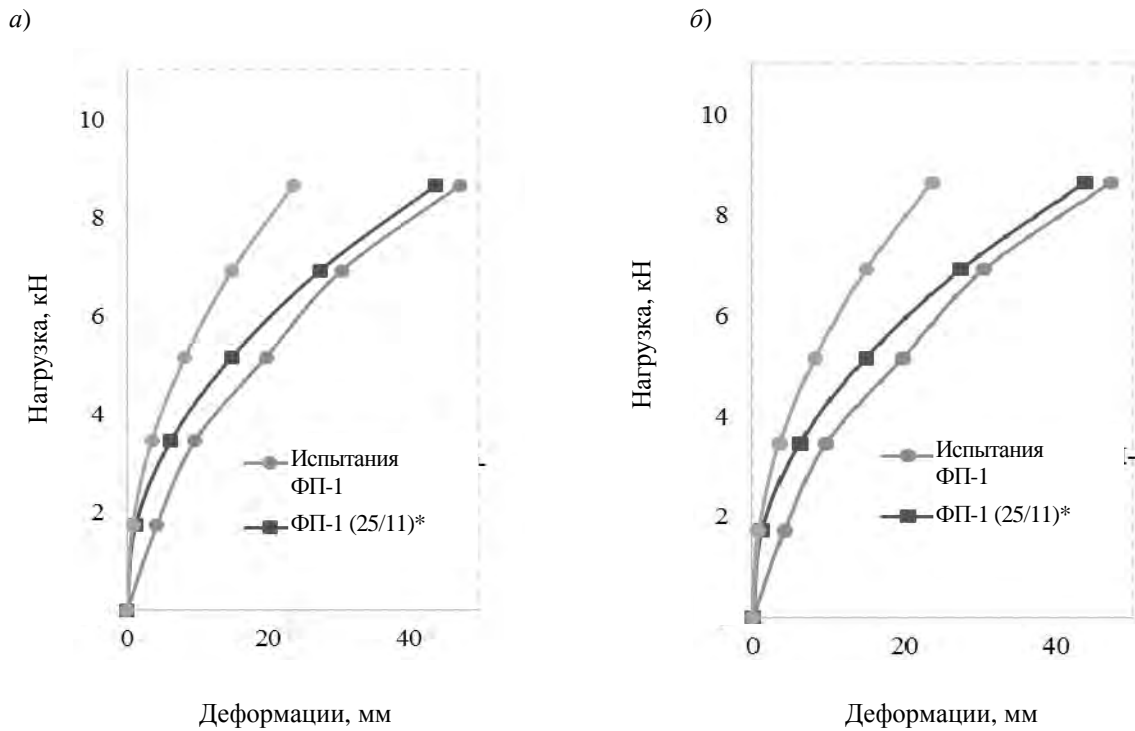


Рис. 3. Графики прогибов опытных образцов: а – марки ФП-1; б – марки ФП-2





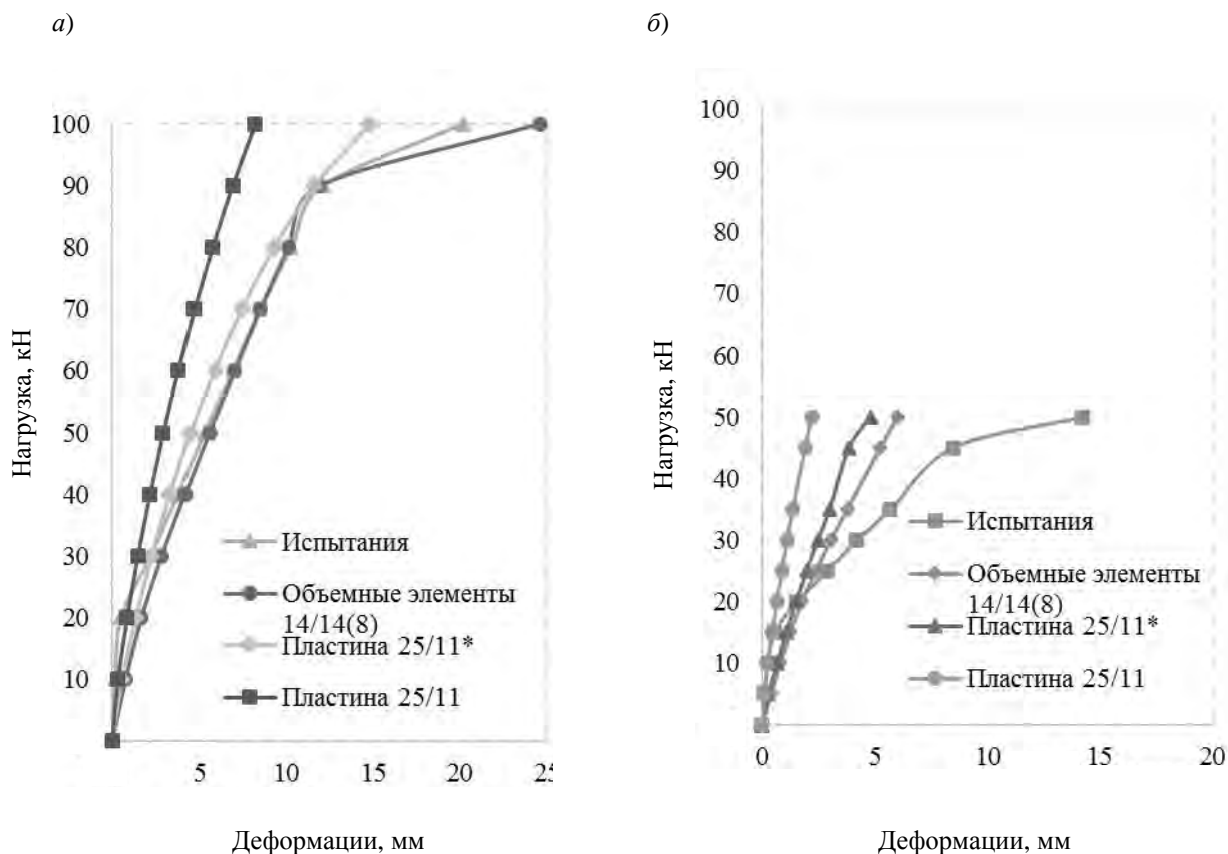


Рис. 4. Графики прогибов опытных образцов: а – марки ДЗ-1-1; б – марки ДЗ-2-10

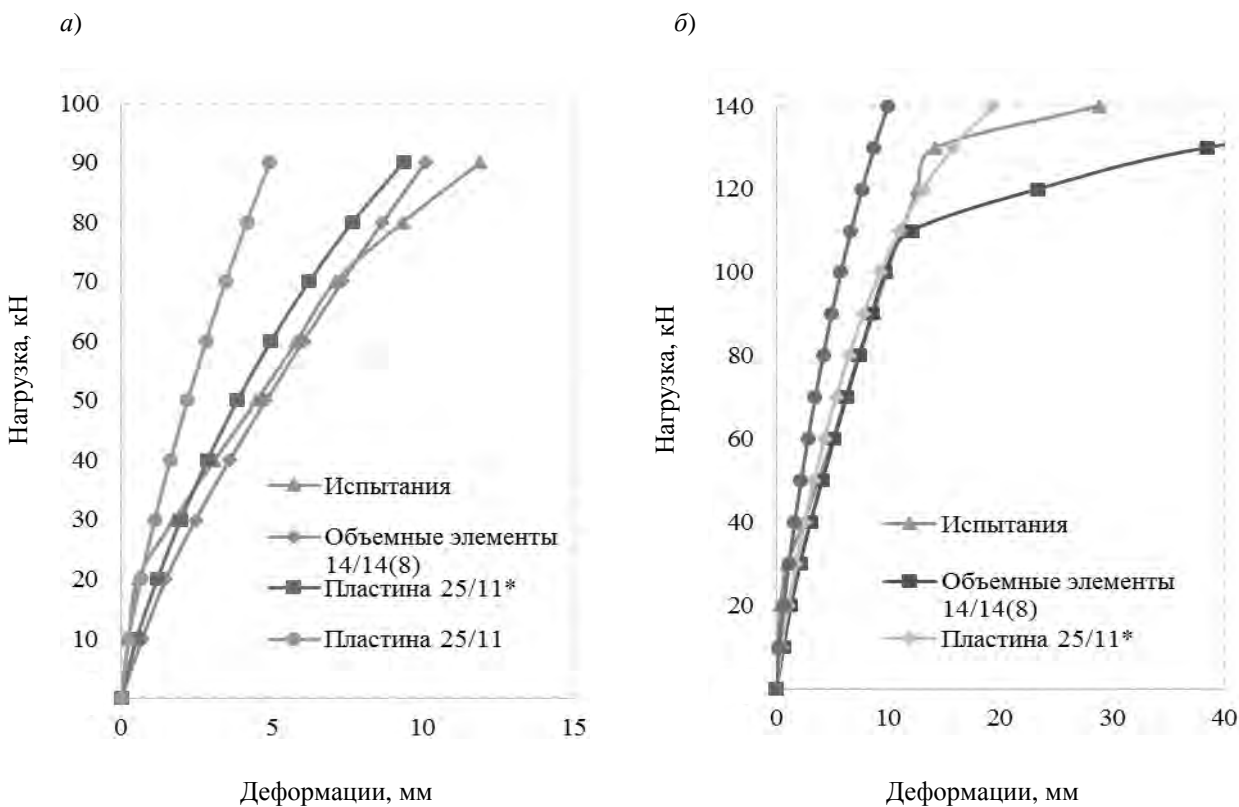


Рис. 5. Графики прогибов опытных образцов: а – марки ДЗ-2-2; б – марки ДЗ-1-3



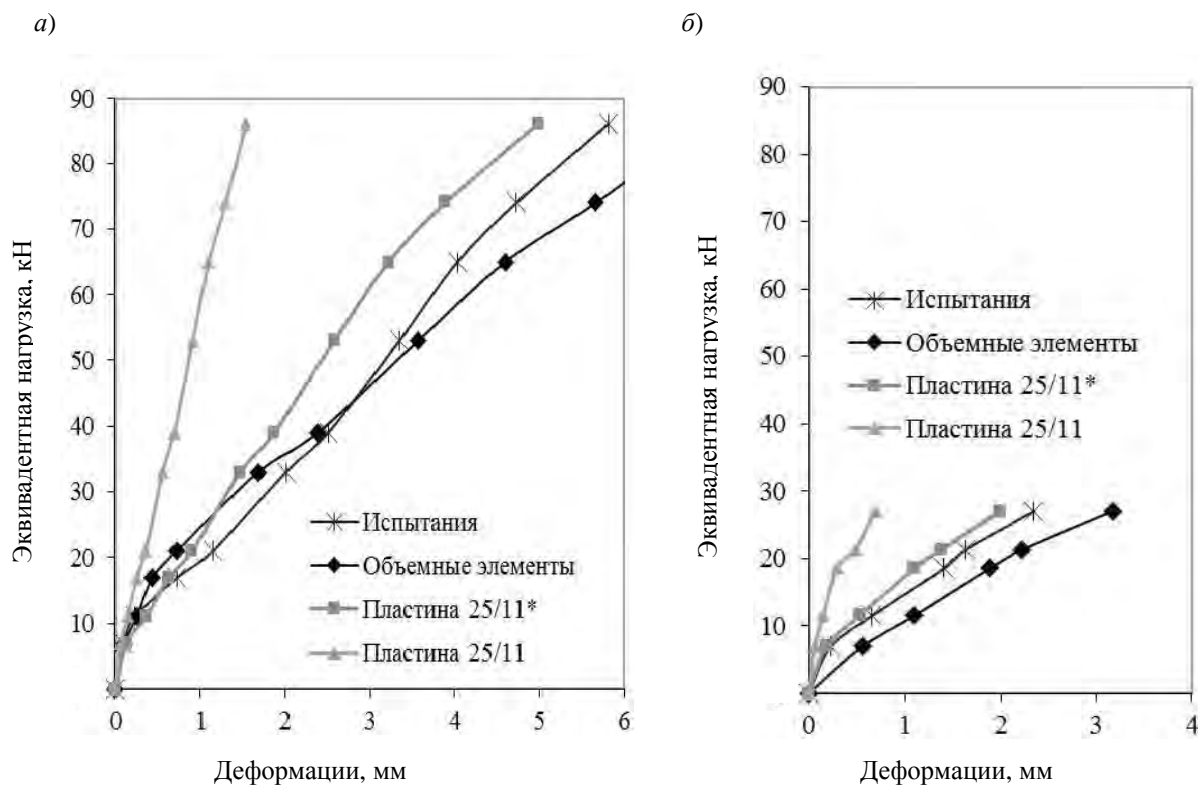


Рис. 6. Графики прогибов опытных образцов: а – марки ПФ-1; б – марки ПФ-2

Такой подход используют в научных исследованиях и инженерных расчетах. Так, А. С. Залесов в работе [11], которая касается предложений по статическому расчету плоских железобетонных элементов с учетом физической нелинейности, отмечает: «При использовании существующих компьютерных программ влияние трещин и неупругих деформаций может быть осуществлено путем условного снижения модулей упругости бетона с помощью коэффициентов, определяющих соотношение изгибных жесткостных характеристик элементов с учетом трещин и неупругих деформаций и изгибных жесткостных характеристик сплошного упругого элемента». То есть условно вводится понижающий коэффициент модуля упругости бетона  $K$ .

Согласно результатам исследований авторов, значение  $K$  необходимо принимать в диапазоне от 0,2 до 0,6.

Итак, рассчитывая плитные элементы с вкладышами, можно использовать ПК «ЛИРА» САПР с моделированием работы плит как пластины с уменьшенным модулем упругости.

### Выводы

Для расчета монолитных перекрытий и других плитных конструкций с вкладышами можно использовать ПК «ЛИРА», моделируя их работу объемными элементами с фактическими характеристиками материалов или моделируя работу пластинчатыми элементами с уменьшенным модулем упругости бетона.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мельник, І. В.** Оптимізація залізобетонних конструкцій з допомогою ефективних вставок / І. В. Мельник // Проблеми теорії і практики будівництва: зб. наук. ст. – 1997. – Т. IV. – С. 89–90.
2. Спосіб виготовлення пористих бетонних і залізобетонних виробів: пат. № 31506 А (Україна), № 98094908 / І. В. Мельник. – Опубл. 15.12.2000.
3. **Мельник, І. В.** Плоскі залізобетонні монолітні перекриття з ефективними вставками / І. В. Мельник // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2000. – № 409. – С. 141–145.
4. Монолітні плоскі залізобетонні фундаментні плити з ефективними вставками / І. В. Мельник, В. М. Сорохтей, Т. В. Приставський, Р. І. Грушка // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2017. – № 877. – С. 144–150.
5. **Мельник, І. В.** Оптимізація залізобетонних прогонових будов мостів / І. В. Мельник // Вісн. Львів. нац. аграр. ун-ту. Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2014. – № 15. – С. 130–136.
6. **Мельник, І. В.** Плоскі залізобетонні плитні конструкції з ефективними вставками: монографія / І. В. Мельник, В. М. Сорохтей, Т. В. Приставський. – Львів: Львів. політехніка, 2018. – 272 с.
7. **Шмуклер, В. С.** Каркасные системы облегченного типа / В. С. Шмуклер, Ю. А. Климов, Н. П. Бурак. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
8. Чисельні та експериментальні методи раціонального проектування та зведення конструктивних систем / В. М. Бабаєв, С. О. Бугаєвський, С. М. Євель, І. Д. Євзеров, А. І. Лантух-Лященко, В. В. Шеветовський, О. В. Шимановський, В. С. Шмуклер. – Київ, 2017. – 404 с.
9. **Лугченко, О. І.** Раціональні порожнисті бетонні та залізобетонні конструкції: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. І. Лугченко. – Харків, 2009. – 22 с.
10. **Демчина, Б. Г.** Особливості розрахунку багатошарових плит перекриття на ПК «ЛИРА» / Б. Г. Демчина, І. З. Рутковська, Л. І. Вознюк // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2009. – Т. 5, № 4. – С. 179–185.
11. **Залесов, А. С.** Разработка предложенных по статическому расчету плоских железобетонных элементов с учетом физической нелинейности / А. С. Залесов, А. Иванов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – № 5. – С. 57–60.

Статья сдана в редакцию 7 июня 2019 года

**Игорь Владимирович Мельник**, канд. техн. наук, доц., Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: GNDL112@ukr.net.

**Василий Михайлович Сорохтей**, ст. науч. сотрудник, Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: monza@ukr.net.

**Тарас Владимирович Приставский**, ст. науч. сотрудник, Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: taras.vol@ukr.net.

**Владимир Петрович Партута**, магистр, Национальный университет «Львовская политехника». E-mail: vova.partuta@gmail.com.

**Igor Vladimirovich Melnyk**, PhD, PhD (Engineering), Associate Prof., Lviv Polytechnic National University. E-mail: GNDL112@ukr.net.

**Vasiliy Mikhailovich Sorokhtey**, senior research fellow, Lviv Polytechnic National University. E-mail: monza@ukr.net.

**Taras Vladimirovich Prystavskyy**, senior research fellow, Lviv Polytechnic National University. E-mail: taras.vol@ukr.net.

**Vladimir Petrovich Partuta**, MSc student, Lviv Polytechnic National University. E-mail: vova.partuta@gmail.com.

