

УДК 624.01

д.т.н., профессор Сурьянинов Н.Г.,  
к.т.н., доцент Твардовский И.А., Чучмай А.М.,  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЕССОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

*Разработана экспериментальная модель кессонного перекрытия и методика его испытаний на действие равномерно распределенной нагрузки. По результатам всех этапов испытаний построены графики «нагрузка – прогибы». На поле экспериментальных графиков наложены линейные теоретические графики, построенные по компьютерной модели. Начальные этапы нагружения не выявили трещинообразования на боковых гранях испытываемой кессонной плиты. Визуальное раскрытие трещин началось при нагрузке, превышающей расчётную. Сравнение графиков экспериментальной и расчётной модели показывает отклонения, полученные в ходе проведения испытания. При этом перераспределение усилий в плите, которые были установлены при проведении эксперимента, дают отрицательный прогиб в консоли, что не отражает расчётная модель, разработанная в программном комплексе SCAD.*

*Ключевые слова: кессонное перекрытие, эксперимент, трещина, бетон, образец, индикатор, SCAD*

**Актуальность проблемы.** Железобетонные плоские перекрытия — наиболее распространенные конструкции, применяемые в строительстве. Для снижения массы перекрытий, возводимых из тяжелого монолитного бетона, в зарубежных странах широко применяют перекрытия эффективных конструктивных форм. Например, во многих европейских странах возводят монолитные кессонные перекрытия, перекрытия с оставляемыми в толще конструкции элементами в виде пустотелых бетонных блоков, пластмассовых шаров.

В отечественном производстве кессонные конструкции встречаются редко. В какой-то мере это можно объяснить недостаточно развитой теорией расчета и конструирования подобных конструкций в отечественной строительной индустрии.

Расчет перекрытий с учетом пространственной работы имеют свою специфику вариантного проектирования, необходимо определить худший вариант нагружения (с точки зрения максимальных усилий) и только после этого выполняют расчет с учетом изменения жесткостей в результате

трещинообразования. Окончательный расчет, как правило, является итерационным, так как в пространственно деформирующемся перекрытии в различных его элементах на разных этапах загрузки возникают различные усилия, следовательно, различные условия для изменения их жесткостных параметров. Изменение жесткостей вновь приводит к перераспределению усилий.

Авторами предложена методика деформационного расчета железобетонных перекрестно балочных конструкций и их элементов по первому и второму предельным состояниям, которую следует проверить соответствующими экспериментальными исследованиями.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Дискретно-континуальные модели пространственно деформируемых ребристых систем впервые предложены В.З. Власовым [1]. Двухмерная задача приводится к одномерной путем дискретизации рассчитываемой системы по одной из координатных осей. Метод сил для расчета кессонных перекрытий разработал В.Н. Байков [2]. Наиболее полный учет неизвестных усилий в методе сил, основанный на расчленении ребристой системы на отдельные тавровые балки и полосы, предложен Б.Е. Улицким [3]. Инженерный метод пространственного расчета монолитных ребристых перекрытий на основе анализа и обобщения результатов компьютерных вычислений разработал Б.В. Карабанов [4]. Достоинством метода Б.В. Карабанова является возможность «ручного» расчета и учета трещинообразования. Среди экспериментальных исследований отметим работу Т.Н. Азизова и Н.Н. Голодковой [5].

**Цель исследования** состоит в разработке экспериментальной модели и методики проведения испытаний кессонного перекрытия.

**Материалы исследования.** Для проведения эксперимента изготовлена модель кессонного перекрытия в масштабе 1:6. Плита выполнена прямоугольной в плане с высотой сечения 100мм (рис. 1). Формирование пустот (кессонов) производилось при помощи деревянных брусков размером 150х150мм. Усилия с плиты передаются на станину через закладные металлические пластины, приваренные к колоннам станины. Данный вид крепления принимаем в расчётной схеме как жесткое. Диаметр арматуры был выбран в соответствии с масштабным расчётом конструкции, а также по результатам, полученным в вычислительном комплексе SCAD. Диаметр верхней и нижней продольной и поперечной арматуры составляет 3мм, сетки в пределах в полке плиты — 2 мм. Коэффициент армирования — 17%.

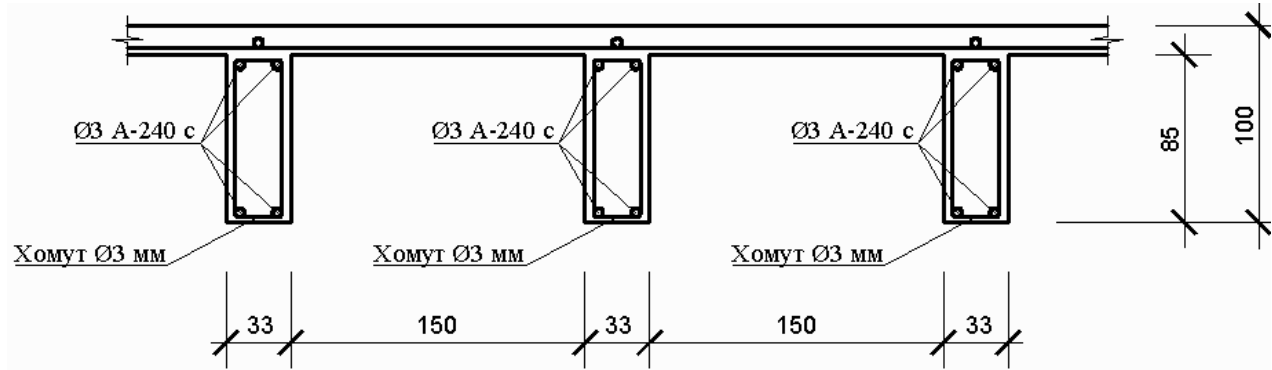


Рис. 1. Модель кессонного перекрытия

Плита бетонировалась в стальной опалубке, соединённой по контуру металлическими уголками на болтах, для предотвращения распора от давления бетона (рис. 2).

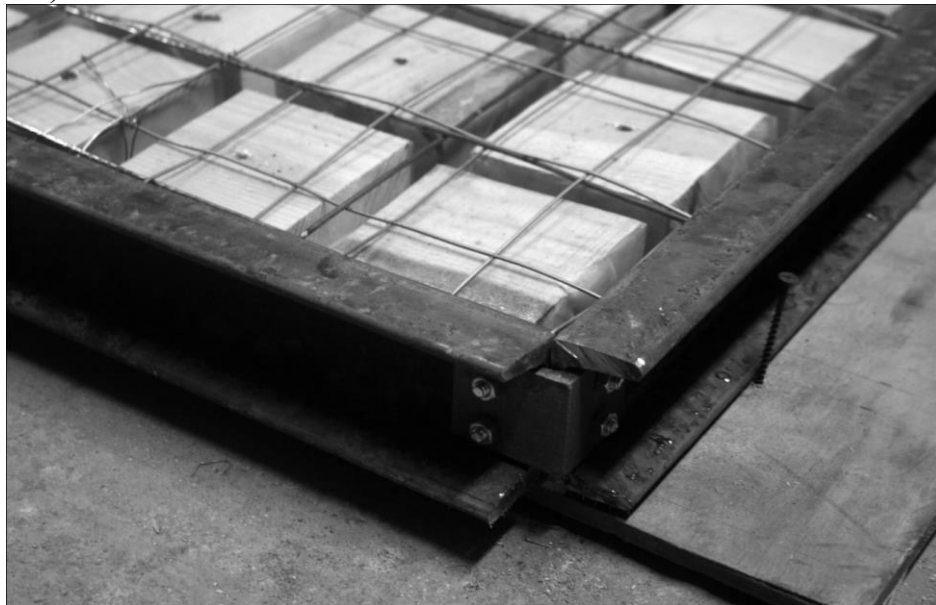


Рис. 2. Угловое соединение стальной опалубки

Заполнение плиты производилось крупнозернистым цементно-песчаным раствором. В качестве вяжущего для бетона применялся цемент марки М400 с активностью, равной 418, Одесского цементного завода, согласно ДСТУ Б.В.2.7-112-2002. В качестве заполнителя использован речной песок с модулем крупности 1,72.

Состав бетонной смеси для бетонирования испытуемой модели:

- цемент М400 — 33кг;
- песок крупнозернистый — 100кг;
- вода — 16,5л.

Приготовление, укладка и уплотнение бетонной смеси осуществлялось вручную. При бетонировании из каждого замеса изготавливались контрольные образцы — кубы и призмы. Спустя 10-12 часов после окончания бетонирования поверхность плиты, образцов кубов и призм покрывалась влажными опилками.

Спустя семь суток производилась распалубка опытных образцов. Дальнейший набор прочности проходил при нормальных температурных условиях ( $t = +16...+18^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 60..65\%$ ).

Физико-механические характеристики бетона определялись в соответствии с принятыми нормативными документами: ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

Образцы — кубы с размером ребра 100мм — испытывались на сжатие и растяжение при раскалывании. Для определения призмочной прочности, начального модуля упругости и коэффициента Пуассона испытывались бетонные призмы с размерами граней 100х100х400мм. Образцы для определения физико-механических характеристик бетона изготавливались того же состава и замеса, что и экспериментальная модель. Испытание кубов и призм производилось непосредственно перед испытанием кессонной плиты.

Физико-механические характеристики арматурных стержней определяли в соответствии с ГОСТ 12004 – 81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение». При этом определялись фактическая площадь арматуры, предел текучести, временное сопротивление, модуль упругости. По относительным удлинениям строилась диаграмма  $\sigma - \epsilon$ . Класс арматуры — А240С. Средние значения характеристик получены по испытаниям 5 арматурных стержней.

Испытания плиты проводились на действие распределённой нагрузки, которая передавалась через металлические штампы и прикладывалась равномерно по поверхности плиты. Схема испытаний приведена в табл. 1.

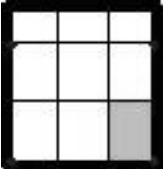
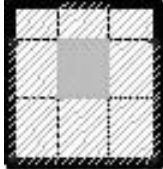
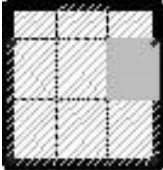
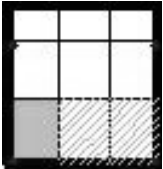
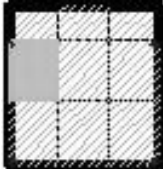
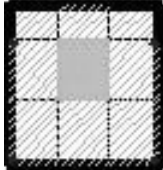
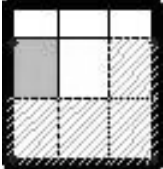
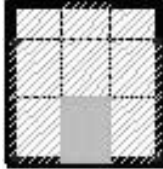
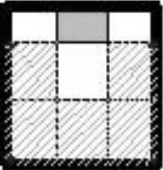
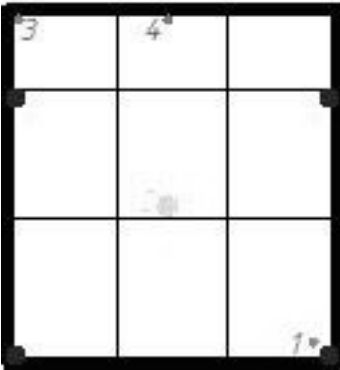
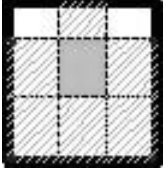
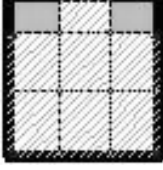
На нижнюю поверхность опытного образца для фиксации прогибов устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01мм по ГОСТ 577-68 (табл. 1). Нагружение образца производилось ступенями в 1/10 от предполагаемой разрушающей нагрузки. Продолжительность составляла 5 минут на начальных ступенях до появления первой трещины и 10 минут на последующих ступенях. В начале и в конце выдержки производилась запись показаний с индикаторов. Во время выдержки осуществлялся визуальный осмотр испытываемого образца, фиксировались трещины на поверхности плиты, измерялась ширина их раскрытия.

После испытаний уточнялась величина защитного слоя бетона, рабочая высота сечения и расположение арматуры в местах разрушения.

По результатам испытаний всех этапов построены графики «нагрузка — прогибы». На поле экспериментальных графиков наложены линейные теоретические графики, построенные по компьютерной модели.

Таблица 1

Схема приложения нагрузки штампами

| Этап 1. Расчетная нагрузка |                                                                                     | Этап 2. Разрушающая нагрузка |                                                                                       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Ступени нагружения         |                                                                                     | Ступени нагружения           |                                                                                       |
| 1                          |    | 9                            |    |
| 2                          |    | 10                           |    |
| 3                          |   | 11                           |   |
| 4                          |  | 12                           |  |
| 5                          |  | 13                           |  |
| 6                          |  | Индикаторы                   |   |
| 7                          |  |                              |                                                                                       |
| 8                          |  |                              |                                                                                       |

### Выводы.

Начальные этапы нагружения не выявили трещинообразования на боковых гранях испытываемой кессонной плиты. Визуальное раскрытие трещин началось при нагрузке, превышающей расчётную, то есть при дополнительном нагружении плиты (второй этап испытания).

Первые трещины образовались в приопорной зоне стойки, а также на консоли, на расстоянии  $1/3$  от угла плиты. Перед разрушением плиты, при нагрузке в 700кг, трещины у стойки получили максимальное раскрытие 7мм. На нижней поверхности плиты фиксировались трещины, характерные для продавливания безригельного каркаса. Разрушение характеризовалось резким разрывом арматурного каркаса и мгновенным обрушением конструкции.

Сравнение графиков экспериментальной и расчётной модели показывает отклонения, полученные в ходе проведения испытания. При этом перераспределение усилий в плите, которые были установлены при проведении эксперимента, дают отрицательный прогиб в консоли, что не отражает расчётная модель, разработанная в программном комплексе SCAD.

### Литература

1. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике / В.З. Власов — М.-Л.: Гостехиздат, 1948. — 784 с.
2. Байков В.Н. Железобетонные конструкции / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов — М.: Стройиздат, 1991. — 767 с.
3. Улицкий И.И. Железобетонные конструкции / И.И. Улицкий, С.А. Ривкин, М.В. Самолетов и др. — К.: Будивельник, 1972. — 992с.
4. Карабанов Б.В. Практический способ расчета плитно-ребристых конструкций на кручение / Б.В. Карабанов // Строительная механика. — 1979. — №1. — С. 45-50.
5. Азизов Т.Н. Экспериментальная методика определения крутильной жесткости элементов сборного железобетонного перекрытия с нормальными трещинами / Т.Н. Азизов, Н.Н. Голодкова // Бетон и железобетон в Украине. — 2008. — №6. — С. 16-19.

### Анотація

Розроблено експериментальну модель кесонного перекриття і методика його випробувань на дію рівномірно розподіленого навантаження. За результатами всіх етапів випробувань побудовані графіки «навантаження - прогини». На полі експериментальних графіків накладені лінійні теоретичні графіки, побудовані по комп'ютерній моделі. Початкові етапи навантаження не виявили тріщиноутворення на бічних гранях випробовуваної кесонної плити.

Візуальне розкриття тріщин почалося при навантаженні, що перевищує розрахункове. Порівняння графіків експериментальної та розрахункової моделі показує відхилення, отримані в ході проведення випробування. При цьому перерозподіл зусиль в плиті, які були встановлені при проведенні експерименту, дають негативний прогин у консолі, що не відображає розрахункова модель, розроблена в програмному комплексі SCAD.

Ключові слова: кесонне перекриття, експеримент, тріщина, бетон, зразок, індикатор, SCAD

### **Annotation**

An experimental model of caisson ceilings and methods of their tests to the action of a uniformly distributed load. According to the results of all stages of test graphs of "load - deflection". In the field of experimental plots superimposed linear theoretical graph showing the computer model. The initial stages of loading showed no cracking on the sidewalls of the test plate bends. Visual crack opening began with a load greater than the calculated. Comparison of experimental plots and calculation model shows a deviation obtained during the test. This redistribution of effort in the plate that were installed during the experiment gave a negative deflection in the console that does not reflect the calculation model developed in the software package SCAD.

Keywords: caisson ceiling, experiment, crack, concrete, pattern, light, SCAD