

УДК 624.072.002.2

## **Результаты экспериментального определения напряженно-деформированного состояния шатровых плит**

<sup>1</sup>Голоднов А.И., д.т.н., <sup>2</sup>Риблов В.В.

<sup>1</sup>ООО «Укринсталькон им. В.Н. Шимановского», Украина

<sup>2</sup>Луганский национальный аграрный университет, Украина

**Анотація.** Шатрові плити широко використовувалися як елементи перекриттів житлових будинків. Підвищена деформативність плит вимагає індивідуального підходу до оцінки їх технічного стану. Наведено результати випробувань таких конструкцій, виконаних у заводських умовах.

**Аннотация.** Шатровые плиты широко использовались как элементы перекрытий жилых зданий. Повышенная деформативность плит требует индивидуального подхода к оценке их технического состояния. Приведены результаты испытаний таких конструкций, выполненных в заводских условиях.

**Abstract.** The hip slabs were widely used as elements of ceiling for dwellings buildings. The enhanced deformability of slabs requires an individual approach to estimation of their technical state. Results obtained after the tests of such constructions executed under plant conditions are cited.

**Ключевые слова:** шатровые плиты, испытания, напряженно-деформированное состояние, свойства железобетона, расчет.

**Введение. Постановка проблемы.** Деформирование железобетонных плит издавна привлекало внимание исследователей, поскольку они имеют широкое распространение. Это, в первую очередь, плоские элементы перекрытий. Методики расчета, рекомендуемые действующими нормативными документами, не всегда дают возможность правильно оценить деформативность конструкций, поскольку в их основу положены предпосылки об упругой или об упруго-пластической работе материала в эксплуатационной стадии. Положение усугубляется еще и тем, что расчеты ведутся, как правило, с применением недеформированных схем [1–5].

Железобетонные шатровые плиты еще недавно были весьма распространенными элементами перекрытий строящихся жилых зданий. Экономичность в сочетании с индустриальностью изготовления и монтажа позволили применять шатровые плиты в крупнопанельном домостроении, в т. ч. и в Луганской области, с 60-х годов прошлого века.

Опыт эксплуатации таких конструкций свидетельствует о повышенной деформативности плит. В связи с этим возникает необходимость в проведении работ по обследованию, оценке технического состояния и восстановлению их эксплуатационной пригодности. При этом необходимо

решать вопросы, связанные с определением напряженно-деформированного состояния (НДС) и выполнением работ по продлению срока эксплуатации как отдельных конструкций, так и зданий в целом [6]. В то же время практически отсутствуют экспериментальные данные о работе таких конструкций под нагрузкой. Решению этого вопроса посвящена настоящая статья.

Работа отвечает актуальным направлениям научно-технической политики Украины в области оценки технического состояния строительных конструкций в соответствии с Постановлением Кабинета Министров Украины № 409 от 5 мая 1997 г. «Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей».

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ последних достижений и публикаций (решению проблем продления срока эксплуатации конструкций посвящены регулярно проводимые конференции как в Украине, так и за рубежом) свидетельствует о необходимости продолжения исследований, направленных на решение важной народно-хозяйственной задачи – продления срока эксплуатации железобетонных конструкций, в частности, шатровых плит перекрытий. Решение этой задачи возможно различными методами. При этом учет упруго-пластических свойств материалов конструкций и изменения условий закрепления при расчетах производится не всегда адекватно, что не дает возможности сделать правильные выводы о возможности продления эксплуатации таких конструкций [5–8].

Решению отдельных аспектов отмеченной выше проблемы и посвящена настоящая статья.

**Основная часть.** Как известно, из всех существующих методов наиболее достоверным является метод натурных исследований конструкций. При этом конструкции должны испытываться в проектом положении, а их нагружение должно выполняться по возможности штучными грузами или сжатым воздухом, что позволит добиться высокой точности приложения нагрузки [9].

Опорные устройства при испытаниях шатровых панелей обеспечивали свободное перемещение. Одна опора была принята неподвижной, а другая – подвижной. Для измерений деформаций, прогибов и ширины раскрытия трещин были использованы индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм (ИГМ-10) и 0,01 мм (ИЧ-10МН), прогибомеры ПАО-6 и отсчетный микроскоп МПБ-2 с 24-кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм.

Измерение давления сжатого воздуха в пневмоподушках выполнялось двумя оттарированными манометрами: ртутным и водяным. С помощью ртутного манометра измерялось давление в камере К-2, расположенной на ребрах шатровой панели, а водяным манометром измерялось давление в камере, которая создавала нагрузку по плите [9].

Сжатый воздух подавался от компрессорной установки по трубам в распределитель воздуха, а оттуда с помощью гибких шлангов и штуцеров – в надувные камеры, ход которых составлял 3 см. Пневмокамеры прижимались к верхней поверхности конструкции деревянными плотно подогнанными щитами. Проектное положение щитов обеспечивалось при помощи поперечных металлических балок, закрепленных к силовому полу.

**Цель исследований** – определение прочности, деформативности и трещиностойкости выпускаемых Коммунарским заводом КПД железобетонных изделий для крупнопанельных домов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- обследовать существующие на заводе КПД технологии изготовления железобетонных конструкций, выявить отклонения от требований норм и стандартов, которые могут отразиться на снижении прочности, повышении деформативности и трещиностойкости;
- разработать мероприятия по улучшению технологии изготовления железобетонных конструкций и их конструктивных решений;
- провести натурные испытания конструкций, используя для этого испытательный стенд с пневмопригрузом;
- выявить фактические параметры конструкций (прочность, деформативность и трещиностойкость) и сравнить их с нормативными; в случае отклонения установить причины несоответствия и наметить мероприятия по их ликвидации;
- на основании результатов проведенных исследований разработать мероприятия по улучшению качества выпускаемых изделий;
- спроектировать, изготовить, смонтировать и отладить универсальный испытательный стенд с пневмопригрузом.

Шатровые плиты перекрытий различных марок входили в номенклатуру изделий, выпускаемых Коммунарским заводом КПД [9]. Они выпускались комплексными и имели повышенную заводскую готовность. Несущая конструкция плиты изготавливалась из тяжелого бетона марки М200. Применение легких бетонов для изготовления плит не оправдалось: конструкции имели низкие прочностные свойства и повышенную деформативность. В плитах выполнялась подготовка из термозитшлакобетона марки М100 толщиной 80 мм и стяжка из цементно-песчаного раствора М100 толщиной 20 мм.

Шатровые плиты перекрытий армировались пространственными каркасами, в состав которых входили плоские каркасы продольных и поперечных ребер и сварные сетки плиты.

Плиты изготавливались в разъемной металлической опалубке. На специальном стенде в кондукторе готовился пространственный каркас, который после изготовления помещался в опалубку. В угловых зонах плит довольно насыщенное армирование, в связи с чем обеспечить надежное сцепление рабочей арматуры с бетоном затруднительно.

Нижние закладные детали плиты устанавливались в опалубке перед формованием, а верхние – после. Проектное положение нижних закладных деталей не фиксировалось, часто они не доводились до низа ребра. В период вибрирования закладные детали смещались в опалубке, что требовало удаления лишнего бетона после пропаривания. В отдельных случаях толщина удаляемого слоя бетона доходила до 40 мм.

В процессе формования конструкции происходило смещение арматуры от проектного положения, что не могло не сказаться на качестве конструкций.

Для испытаний были отобраны образцы шатровых плит перекрытия типа ШПО (комплексная шатровая панель) в количестве 2 шт. и плит перекрытия типа ШПК.

От каждой партии конструкций из 100 шт. отбиралось одно изделие, не отличающееся от других по внешним признакам. Прочность бетона конструкций определялась раздавливанием контрольных образцов с размером ребра 10 см. Кубики в количестве 9 шт. изготавливались одновременно с изделием из одного замеса и хранились до испытаний в одинаковых условиях. Испытания кубиков (по 3 шт.) выполнялись после разопалубливания, в возрасте 28 суток, а также в момент испытаний конструкции.

Испытания шатровой плиты выполнялись по схеме ее работы, как свободно опертой конструкции при опирании по двум коротким ребрам. Опорные части плиты имели одну подвижную, а другую – неподвижную опоры. Подвижное опирание обеспечивалось применением металлических труб диаметром 70 мм. Опорные стальные листы укладывались на выравнивающий слой цементно-песчаного раствора.

Загружение плит выполнялось по 10 этапам. Этапная нагрузка составляла примерно 0,1...0,2 от предполагаемой разрушающей ( $P_u$ ). Подача сжатого воздуха в надувные камеры плит и ребер осуществлялась по кислородным шлангам, подключаемым к камерам через штуцера. Измерения давления в камерах выполнялись с помощью ртутного и водяного манометров.

Контрольная нагрузка для плиты составляла  $175 \text{ кг/м}^2$  (без учета собственного веса), а для ребер –  $185 \text{ кг/пм}$ . Разрушающие нагрузки составляли соответственно  $303 \text{ кг/м}^2$  для плиты и  $384 \text{ кг/пм}$  – для ребер. Контрольные прогибы для плиты и ребер составляли  $0,74 \text{ мм}$  и  $9,4 \text{ мм}$ , а предельные –  $15,3 \text{ мм}$  и  $28,7 \text{ мм}$ .

Измерение прогибов осуществлялось с помощью прогибомеров и индикаторов часового типа. Схема размещения приборов приведена на рис. 1.

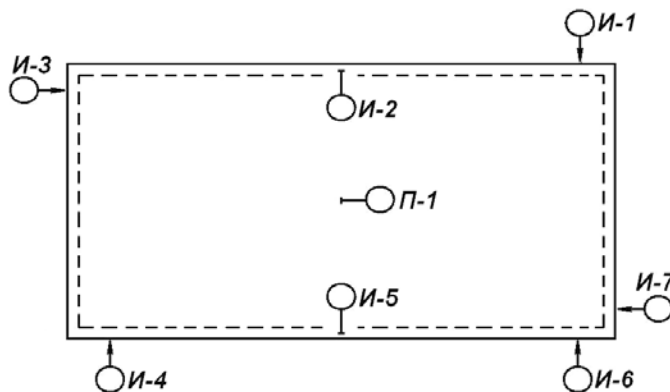


Рис. 1. Схема размещения приборов при испытаниях шатровых плит

В табл. 1 приведены результаты испытаний плиты ШПО-1, изготовленной из легкого бетона (термозитобетона) марки М250 объемным весом  $2000 \text{ кг/м}^3$  и высотой несущего ребра  $320 \text{ мм}$ . В продольных ребрах рабочая арматура принята  $2\text{Ø}20 \text{ А-III}$ . Кубиковая прочность бетона на день испытаний составила  $261 \text{ кг/см}^2$ .

Таблица 1

Результаты испытаний плиты ШПО-1

| № этапа | Нагрузка на полку, $\text{кг/м}^2$ | Нагрузка на ребра, $\text{кг/пм}$ | Отсчеты по прогибомеру П-1, см (рис. 1) | Отсчеты по индикаторам, мм (рис. 1) |       |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------|
|         |                                    |                                   |                                         | И-2                                 | И-5   |
| 0       | 0                                  | 0                                 | 0,020                                   | -                                   | 0,20  |
| 1       | 35                                 | 37                                | 0,130                                   | -                                   | 1,43  |
| 2       | 70                                 | 74                                | 0,385                                   | -                                   | 4,60  |
| 3       | 105                                | 111                               | 0,720                                   | -                                   | 8,20  |
| 4       | 140                                | 148                               | 1,230                                   | -                                   | 11,70 |
| 5       | 175                                | 185                               | 1,268                                   | -                                   | 14,35 |
| 6       | 194,3                              | 226,6                             | 1,400                                   | -                                   | 17,60 |
| 7       | 213,6                              | 268,2                             | 1,780                                   | -                                   | 21,50 |
| 8       | 232,9                              | 310                               | 1,978                                   | -                                   | 23,48 |
| 9       | 268                                | 347                               | 2,930                                   | -                                   | 31,18 |
| 10      | 303                                | 384                               | -                                       | -                                   | -     |

Разрушение плиты произошло на 9 этапе (вместо 11), что соответствовало нагрузке на плиту  $268 \text{ кг/м}^2$  и на ребра  $347 \text{ кг/пм}$ . Разрушение плиты произошло по нормальному сечению продольного ребра. Плита должна была выдержать нагрузку:  $303 \text{ кг/м}^2$  на плиту и  $384 \text{ кг/пм}$  на ребра.

Первые трещины появились при этапной нагрузке, равной примерно  $0,2 \cdot P_u$  (ширина раскрытия составила  $0,1 \text{ мм}$ ), а предельной величины ширины раскрытия ( $0,3 \text{ мм}$ ) трещины достигли при нагрузке  $0,3 \cdot P_u$ . В продольных ребрах трещины раскрылись в средней части ребер при нагрузке  $0,3 \cdot P_u$ . По мере возрастания нагрузки ширина раскрытия трещин увеличивалась и на 9 этапе достигла  $3 \dots 5 \text{ мм}$ , после чего плита «села» на страховочные опоры.

Раскрытие трещин сопровождалось развитием прогибов. Фактический контрольный прогиб ребра, соответствующий нормативной нагрузке, составил  $14,15 \text{ мм}$ , что превышает допускаемый в  $1,5$  раза.

На основании проведенных испытаний был сделан вывод о том, что шатровые плиты из легкого бетона не отвечают нормативным требованиям по прочности, деформативности и трещиностойкости и не могут быть рекомендованы к производству.

В табл. 2 приведены результаты испытаний комплексной плиты ШПК 1-1, изготовленной из тяжелого бетона с подготовкой под полы из термозитобетона.

Таблица 2

**Результаты испытаний комплексной плиты ШПК 1-1**

| № этапа | Нагрузка на полку, $\text{кг/м}^2$ | Нагрузка на ребра, $\text{кг/пм}$ | Отсчеты по прогибомеру П-1, см (рис. 1) | Отсчеты по индикаторам, мм (рис. 1) |       |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------|
|         |                                    |                                   |                                         | И-2                                 | И-5   |
| 0       | 0                                  | 0                                 | 0,007                                   | 0,0                                 | 0,0   |
| 1       | 35                                 | 37                                | 0,026                                   | 0,82                                | 0,80  |
| 2       | 70                                 | 74                                | 0,125                                   | 2,61                                | 2,50  |
| 3       | 105                                | 111                               | 0,170                                   | 4,67                                | 4,53  |
| 4       | 140                                | 148                               | 0,310                                   | 6,77                                | 6,60  |
| 5       | 175                                | 185                               | 0,481                                   | 9,32                                | 9,31  |
| 6       | 194,3                              | 226,6                             | 0,703                                   | 12,42                               | 12,01 |
| 7       | 213,6                              | 268,2                             | 0,875                                   | 15,54                               | 15,81 |
| 8       | 232,9                              | 310                               | 1,180                                   | 16,64                               | 18,11 |
| 9       | 268                                | 347                               | 1,318                                   | 18,96                               | 19,66 |
| 10      | 303                                | 384                               | 1,355                                   | 22,44                               | 21,91 |

Разрушение плиты произошло на 10 этапе, что соответствовало нагрузке на плиту  $303 \text{ кг/м}^2$  и на ребра  $384 \text{ кг/пм}$ .

Первые трещины появились при этапной нагрузке, равной примерно  $0,2 \cdot P_u$  (ширина раскрытия составила 0,01 мм), а предельной величины ширины раскрытия (0,3 мм) трещины достигли при нагрузке  $0,9 \cdot P_u$ . В продольных ребрах трещины раскрылись в средней части ребер при нагрузке  $0,3 \cdot P_u$ . По мере возрастания нагрузки ширина раскрытия трещин увеличивалась и на 10 этапе достигла 4 мм, после чего плита «села» на страховочные опоры.

Раскрытие трещин сопровождалось развитием прогибов. Фактический контрольный прогиб полки, соответствующий нормативной нагрузке, составил 4,8 мм. Прогиб ребер плит составил 9,32 мм и 9,31 мм, что в целом соответствовало требованиям нормативных документов. На основании проведенных испытаний был сделан вывод о том, что комплексные шатровые плиты из тяжелого бетона отвечают нормативным требованиям по прочности, но не отвечают требованиям по деформативности и трещиностойкости.

На основании анализа полученных в ходе проведенных исследований экспериментальных данных разработаны рекомендации по улучшению качества железобетонных изделий [9].

Учитывая важное обстоятельство, что в настоящее время эксплуатируемые шатровые плиты имеют большие прогибы, а это требует разработки рекомендаций по их обследованию, оценке технического состояния и проектных решений по усилению, наличие экспериментального материала даст возможность ученым и проектировщикам оценить правильность своего подхода к разработке расчетных моделей конструкций. Полученные в ходе проведения экспериментальных исследований данные используются нами при разработке расчетных моделей шатровых плит [5].

### **Выводы**

Железобетонные шатровые плиты еще недавно были весьма распространенными элементами перекрытий крупнопанельных жилых зданий. Оптимизация таких конструкций способствовала их экономичности, но, в то же время, требовала серьезного подхода к технологии изготовления.

В настоящее время эксплуатируемые шатровые плиты имеют большие прогибы, что требует разработки рекомендаций по их обследованию, оценке технического состояния и проектных решений по усилению. Поскольку одним из этапов оценки технического состояния является расчет конструкций, а такие конструкции в настоящее время не выпускаются и не испытываются, наличие экспериментального материала даст возможность ученым и проектировщикам оценить правильность своего подхода к разработке расчетных моделей конструкций.

## **Література**

- [1] Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-160:2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. – (Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України).
- [2] Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : ДБН В.2.6-163:2010. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с. – (Конструкції будівель і споруд. Державні будівельні норми України).
- [3] Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України).
- [4] Прогини і переміщення. Вимоги проектування : ДСТУ Б В.1.2-3:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 10 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Національний стандарт України).
- [5] Голоднов А. И. Жесткость элементов железобетонных пластин / О. І. Голоднов, В. В. Ріблов // Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник / НДІБК. – К. : НДІБК, 2011. – Вип. 74. – Книга 1. – С. 293–300.
- [6] Семиног М. М. Моделювання напружено-деформованого стану для обґрунтування можливості продовження терміну експлуатації будівельних конструкцій, будівель та споруд / М. М. Семиног, О. І. Голоднов // Зб. наук. праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2009. – Вип. 4. – С. 243–249.
- [7] Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 60 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [8] Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14-2008. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 43 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [9] Испытание железобетонных конструкций и выдача рекомендаций по повышению их качества. Разработка универсального испытательного стенда с пневматическим пригрузом : отчет о НИР (промежуточ.) / Коммун. горно-металлург. ин-т; рук. Петрова А. К. – Коммунарск, 1976. – 134 с. – № 1141 г/б; № ГР 76002753. – Инв. № 0294U002445.

*Надійшла до редколегії 25.09.2013 р.*