

# ИСПЫТАНИЕ НАТУРНОГО ФРАГМЕНТА СБОРНО-МОНОЛИТНОГО КАРКАСА СИСТЕМЫ АРКОС С ПЛОСКИМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ\*

**А. А. Карякин, С. А. Сонин, П. В. Попп, М. В. Алилуев**

## TEST OF THE FULL-SCALE FRAGMENT OF COMPOSITE STRUCTURE OF THE ARCOS SYSTEM WITH FLAT-SLAB DECKS

**A. A. Karyakin, S. A. Sonin, P. V. Popp, M. V. Aliluev**

В статье представлены результаты испытания фрагмента сборно-монолитного каркаса системы АРКОС.

*Ключевые слова: испытания, преднапряженные плиты, «ригели», прочность, жесткость, трещиностойкость.*

In the article the results of the test of the full-scale of the composite structure of the ARCOS system are presented.

*Keywords: tests, prestressed slabs, "crossbars", strength, stiffness, fracture strength.*

Методика испытаний приведена в статье [5].

Фрагмент каркаса в натуральных размерах был возведен на территории завода ООО ПСК «Восток» г. Челябинск (рис. 1).

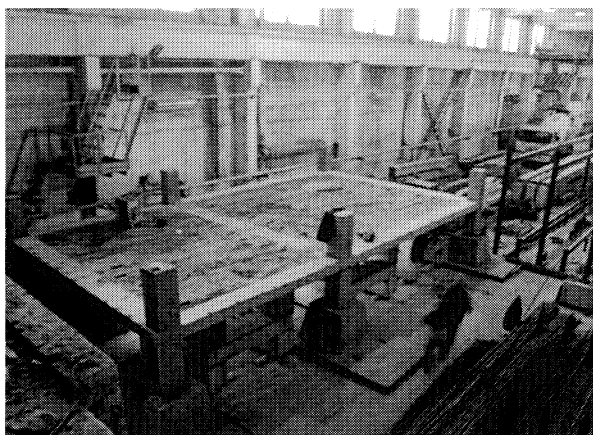


Рис. 1. Общий вид фрагмента каркаса до нагружения

Фрагмент каркаса состоял из двух ячеек с размерами в плане по осям колонн 7,2х6,4 м и 4,5 х6,4 м с пролетом несущих монолитных участков («ригелей») - 6,4 м (рис. 2), между которыми в пределах их высоты располагаются многопустотные плиты перекрытия [1]. Плиты на стадии изготовления монтируются на временные опоры, а после бетонирования монолитных окаймляющих их участков, набора прочности и распалубки удерживаются в составе перекрытия за счет бетонных шпонок и сил трения. Размер шпонок с торцов

плит технологически ограничен величиной 100 мм. Межплитные швы содержали приопорные каркасы. Монолитные несущие и связевые «ригели» объединены в замкнутую раму (в плане), охватывающую группу плит в каждой ячейке и зашпательную по углам в разрывах сборных колонн. Сборные колонны были заделаны в фундаменты. Для «ригелей», межплитных швов был принят бетон класса В25, для колонн - В30. Армирование многопустотных плит принято в соответствии с [1] под расчетную нагрузку 4,8 кПа. Армирование несущих «ригелей» выполнено пространственными каркасами и отдельными стержнями класса А500С.

Фактическую прочность бетона на сжатие определили испытаниями контрольных образцов (испытано 6 кубов), изготовленных из бетона монолитных участков в соответствии с [3]. В сборных конструкциях прочностные свойства бетона определяли неразрушающим методом согласно [4]. Фактическая кубиковая прочность бетона монолитных участков на момент испытаний составила в среднем  $R=47,5$  МПа (класс В40), колонн - проектная. По данным проведенных испытаний арматуры, стержни диаметром 22 мм имели предел текучести  $\sigma_y=594$  МПа, а диаметром 16 мм –  $\sigma_y=556$  МПа.

Схема установки измерительных приборов представлена на рис. 3.

Расчет несущей способности элементов перекрытия с учетом фактических прочностных свойств арматуры и бетона, выполненный в ООО «БЭСТ-инжиниринг-Урал», определил величину контрольной нагрузки, равной - 8,0 кПа.

\* В испытаниях принимал непосредственное участие автор системы АРКОС А.И. Мордич.

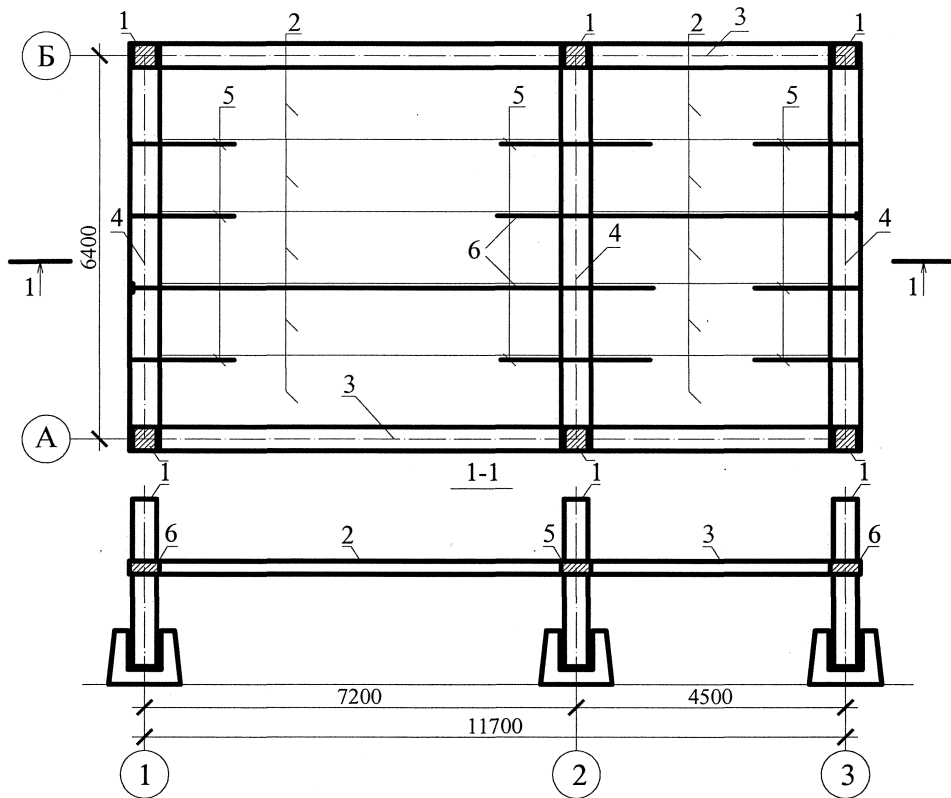


Рис. 2. Конструктивная схема испытываемого перекрытия: 1 - колонны; 2 - преднапряженные пустотные плиты; 3 - связевой ригель; 4 - несущий ригель; 5 - межплитные надпорные стержни; 6 - стержни, воспринимающие распор

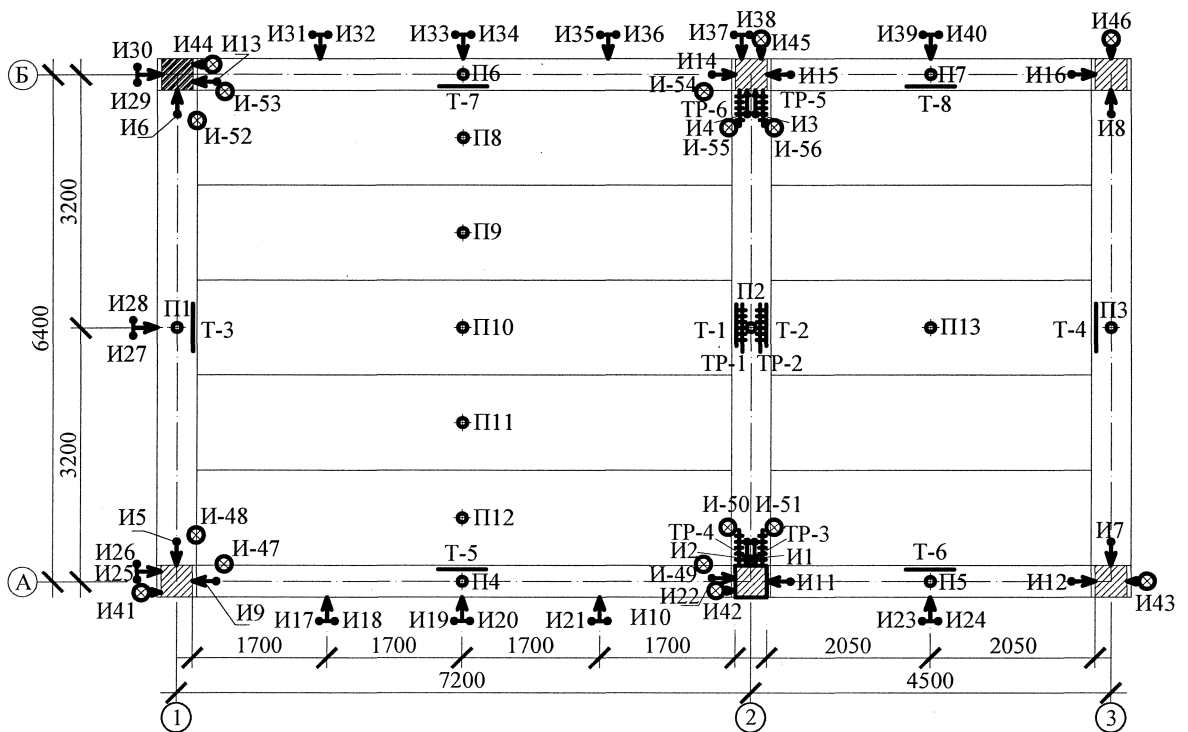


Рис. 3. Схема расстановки приборов по верхней (Т1-Т8 - тензومتر Аистова (бетон), ТР3-ТР5 - рычажный тензومتر (арматура), И17-И40 - индикаторы (x0.001) для замера перемещений «ригелей») и по нижней поверхности перекрытия (П1-П13 - прогибомер, И1-И16 - индикатор часового типа (x0.01) (бетон), ТР1-ТР2 - рычажный тензومتر (арматура), И41-И46 - индикаторы (x0.01) для замера осадок колонн; И47-И56 - индикаторы (x0.01) для замера взаимных вертикальных смещений плит и «ригелей»)

Испытание фрагмента каркаса осуществлялось в две стадии. На первой стадии перекрытие было нагружено вертикальной распределенной нагрузкой (монолитные участки не загружались) до уровня контрольной нагрузки по жесткости и трещиностойкости (при проектных характеристиках материалов), составляющей 4,3 кПа. Дальнейшее нагружение было прекращено и фрагмент каркаса был оставлен нагруженным в течение 18 часов. После выдержки (на второй стадии) испытание фрагмента каркаса было продолжено. Общее количество ступеней нагружения до момента разрушения составило 16, приращение нагрузки на каждом этапе составляло 60-70 кПа. Начиная от нагрузки, равной 12,4 кПа (14 этап), нагружение фрагмента производили без снятия отчетов по приборам. Испытаниями установлено, что исчерпание несущей способности фрагмента каркаса произошло при нагрузке  $q=14,68$  кПа ( $14,68$  кН/м<sup>2</sup>), без учета нагрузки от собственной массы перекрытия.

Разрушение несущего ригеля по оси 1 произошло от текучести рабочей арматуры в верхней зоне несущих «ригелей» в сечениях у колонн. В момент разрушения «ригеля» по оси 1 наблюдалось раздробление бетона сжатой зоны (стык с колонной Б/1). Согласно [2], разрушение фрагмента относится к I случаю разрушения. Фактический коэффициент безопасности  $C^{\phi}$  по результатам испытаний составил 1,52.

Схемы образования и распространения трещин в перекрытии показаны на рис. 4 и 5. При

этом, если в середине пролета ригелей понизу, трещины были расположены в основном по нормали к их продольной оси, то поверху у колонн трещины располагались как по диагонали (в крайних несущих ригелях), так и вдоль оси ригеля (в среднем несущем ригеле).

Первые продольные трещины по нижней плоскости плит появились в средней плите на 8 этапе (7,17 кПа), что свидетельствует о том, что в перекрытии возникает изгибающий момент в направлении цифровых осей, а плиты работают совместно. О совместности работы плит в составе перекрытия говорит то, что окончательная картина трещин по его нижней плоскости приближается к классической схеме «конверта», это говорит о том, что перекрытие работает не по балочной схеме, а по плитной. Наклонные трещины на концах плит по их нижней плоскости указывают на то, что эти участки вовлекаются в совместную работу с монолитными несущими «ригелями». Трещины (вдоль цифровых осей) по нижней плоскости плит образовались лишь на последних этапах нагружения, что говорит о низком уровне растягивающих напряжений в плитах.

Деформации «ригелей» по осям А и Б следуют за деформациями крайних плит, поэтому в них поперечные трещины появились на более поздних этапах нагружения - восьмом и выше. При этом как и в преднапряженных плитах, так и в связевых «ригелях» пролета 2-3 поперечные трещины по нижней плоскости отсутствовали.

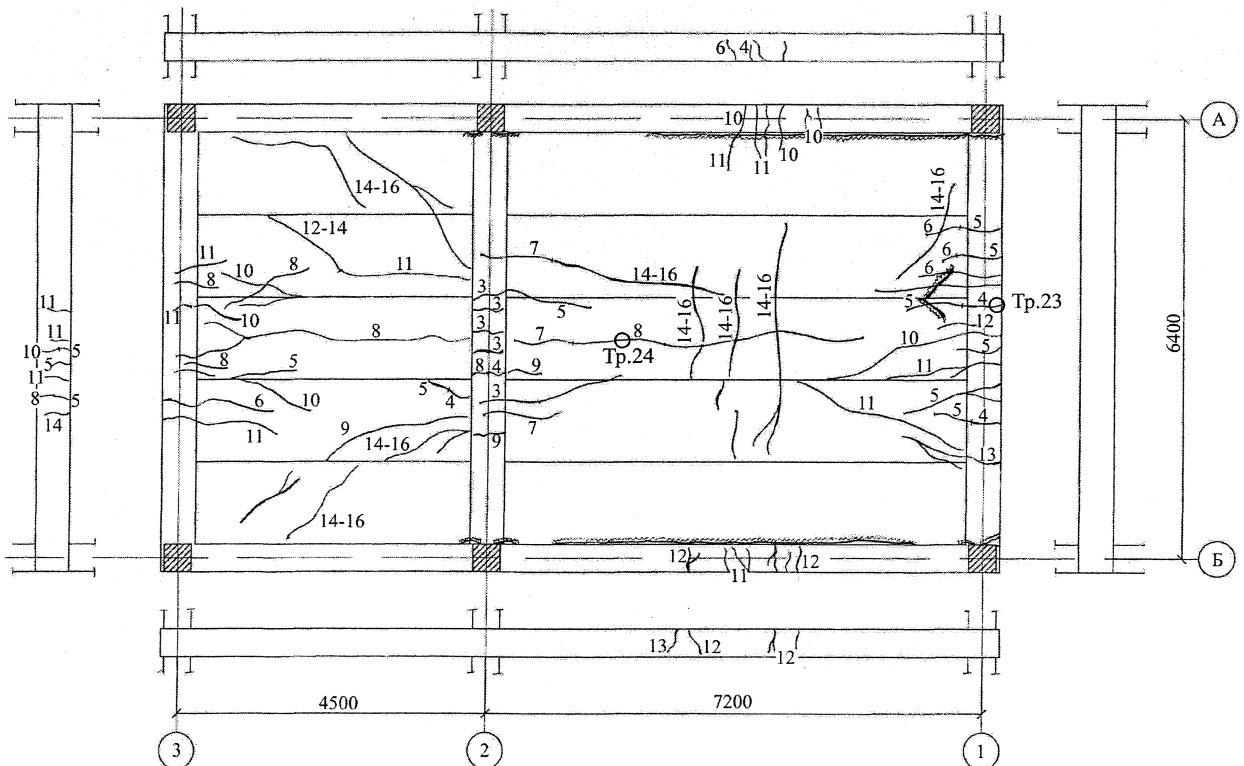


Рис. 4. Картина трещин по нижней поверхности фрагмента перекрытия после разрушения

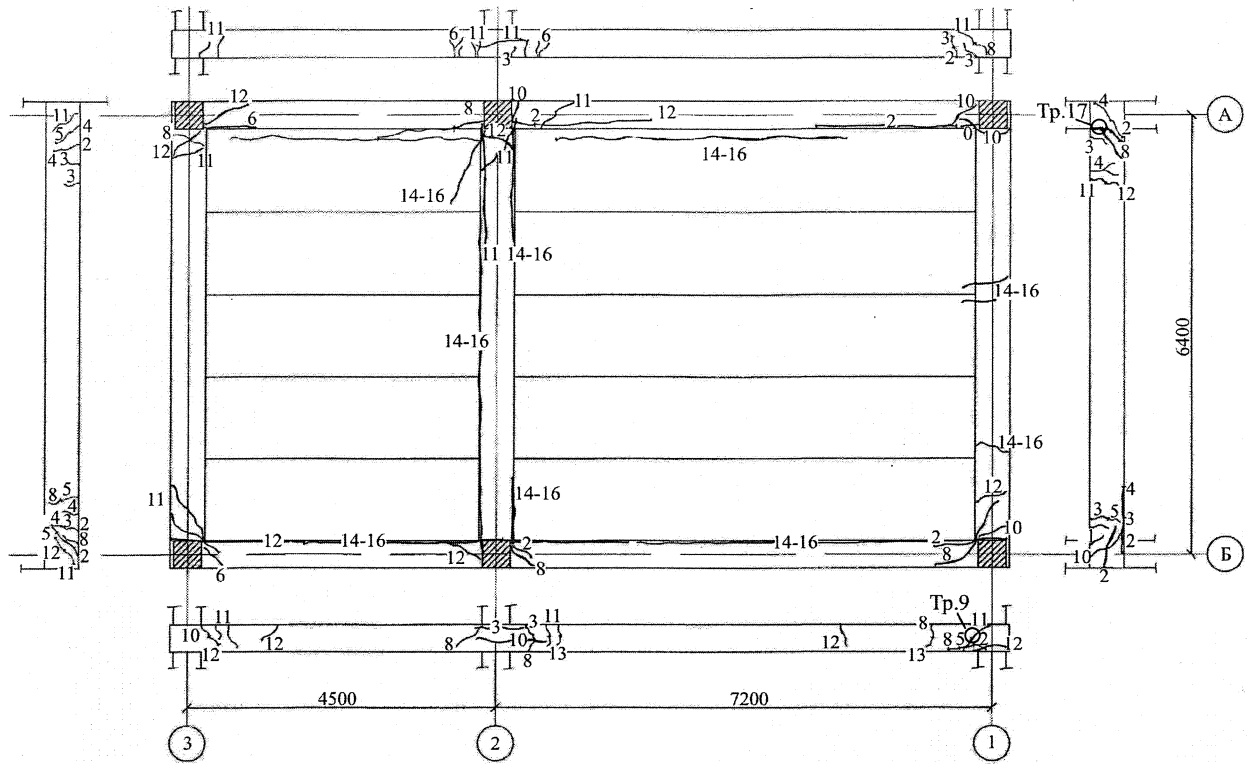


Рис. 5. Картина трещин по верхней поверхности фрагмента перекрытия после разрушения

Видно, что в местах опирают на колонны (по верхней поверхности перекрытия) в монолитных участках на 8-10 этапах образовались диагональные трещины, свидетельствующие о наличии изгибно-крутильных деформаций этих участков. Кроме того, на 14-16 этапах нагрузки стали образовываться и раскрываться трещины по контакту между несущим средним «ригелем» и плитами со стороны малого пролета, а также в швах между связевыми «ригелями» и крайними плитами.

Конструкции перекрытия (плиты и «ригели») в целом отвечают требованиям норм по трещиностойкости. Однако трещины, шириной превышающей предельно допустимую величину, образовались при испытании в местах стыков сборных элементов с монолитными участками (в верхней зоне перекрытия). При нормативной нагрузке 6,2 кПа ширина раскрытия контактных верхних трещин между торцами плит и монолитными несущими «ригелями» превысила предельно допустимую величину равную 0,28 мм, согласно [2], и составила 0,8 мм. Графики ширины раскрытия трещин с ростом испытательной нагрузки представлены на рис. 6. Максимальная ширина раскрытия трещин при проектной нормативной нагрузке 4,3 кПа составила 0,25 мм и  $a_{cr}=0,4$  мм (тр. № 17 в несущем «ригеле» на опоре по оси 1/А) при фактической нормативной нагрузке 6,2 кПа.

Первая трещина образовалась при нагрузке  $q=17,45$  кН/м<sup>2</sup> (этап № 2).

Трещиностойкость и жесткость (по прогибам) оценивалась при нормативных нагрузках 4,3 кПа и

6,2 кПа по проектным и фактическим характеристикам материалов.

Максимальная величина ширины раскрытия трещин составила:

- несущие ригели в пролете снизу - при нагрузке 4,3 кПа 0,2 мм и при нагрузке 6,2 кПа 0,2 мм, на опорах колонн соответственно - 0,25 и 0,4 мм;
- продольные по контакту между торцами плит и несущим ригелем (сверху) - 0,6 и 0,8 мм;
- связевые ригели: на опорах колонн - 0 и 0,3 мм;
- продольные по контакту между торцами плит и связевым ригелем (сверху) - 0,3 и 1,3 мм;
- плиты: поперечные снизу - 0,0 и 0,35 мм.

На рис. 7-9 представлены графики развития под нагрузкой прогибов ригелей и плит испытанного фрагмента каркаса.

Максимальные прогибы составили, для:

- несущих ригелей: 15,49 мм и 20,50 мм (ригель по оси 2);
- связующих ригелей: 5,60 мм и 8,70 мм (ригель по оси Б в пролете 1÷2);
- плит: 3,01 мм и 5,10 мм (средняя плита в пролете 1÷2).

Эти значения меньше предельно допустимой величины прогиба, равной для плоских перекрытий 30 мм. Анализ показаний приборов, установленных для замера возможных осадок колонн, показал, что осадок колонн не наблюдалось.

Данные испытаний показали, что перекрытие отвечает требованиям действующих норм по жесткости.

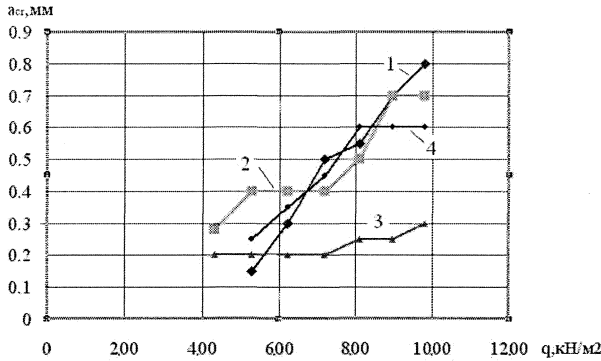


Рис. 6. Ширина раскрытия трещин: 1 – трещина № 9; 2 – трещина № 17; 3 – трещина № 23; 4 – трещина № 24

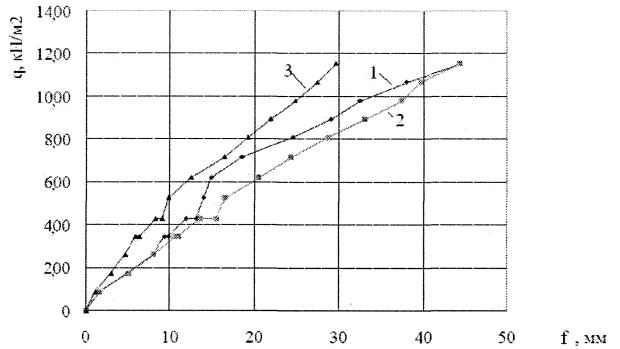


Рис. 7. Прогибы несущих ригелей: 1 – показания прогибомера П-1; 2 – то же П-2; 3 – то же П-3

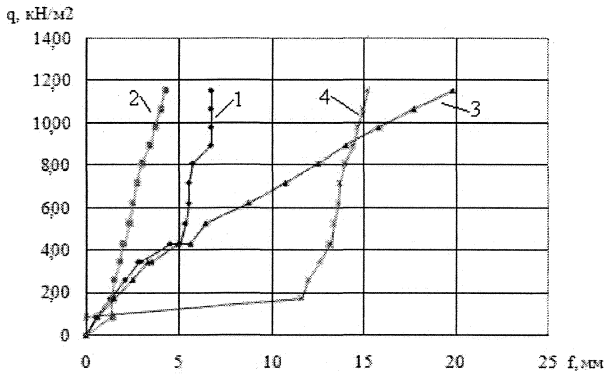


Рис. 8. Прогибы связевых ригелей: 1 – показания прогибомера П-4; 2 – то же П-5; 3 – то же П-6; 4 – то же П-7

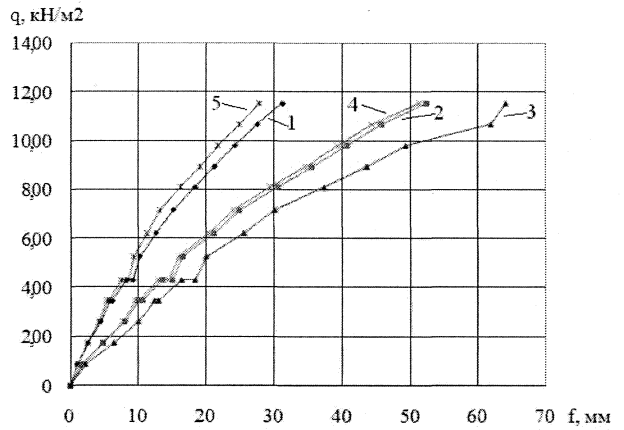


Рис. 9. Прогибы преднапряженных плит длиной 6700 мм: 1 – показания прогибомера П-8; 2 – то же П-9; 3 – то же П-10; 4 – то же П-11; 5 – то же П-12

## Выводы

1. Результаты испытаний до разрушения фрагмента каркаса системы АРКОС показывают, что при принятом конструктивном решении каркас полностью удовлетворяет требованиям ГОСТа по прочности и жесткости.

2. Исчерпание несущей способности фрагмента каркаса произошло от текучести верхней арматуры несущего монолитного ригеля.

3. Разрушения стыков сборных конструкций и монолитных участков не наблюдалось.

4. Конструкции перекрытия в целом отвечают требованиям норм по трещиностойкости. Однако, трещины шириной превышающей предельно допустимую величину, образовались в местах стыков сборных элементов с монолитными участками (в верхней зоне перекрытия).

5. Результаты испытаний учтены при проектировании многоэтажных зданий системы АРКОС.

## Литература

1. ИЖ 568-03. Плиты перекрытий железобетонные многоспустотные предварительно на-

пряженные стенового безопалубочного формования высотой 220 мм, шириной 1200 мм, армированные высокопрочной проволокой класса Вр-П. — М.: ГУПНКТИ, 2004. — 19 с.

2. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. — М.; МНТКС, 1997. — 27 с.

3. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. — М.: Государственный строительный комитет СССР, 1990. — 45 с.

4. ГОСТ 22690—88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. — М.: Государственный строительный комитет СССР, 1991. — 15 с.

5. Попп, П.В. Разработка методики испытания фрагмента сборно-монолитного каркаса зданий / П. В. Попп // Сборник 1 конференции аспирантов и докторантов. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

Поступила в редакцию 13 июля 2009 г.