

*Бактыгулов К.*

**ИЙКЕМДУУ БАЙЛАНЫШТАРЫ МЕНЕН АЙКАЛЫШТЫРЫЛГАН  
УСТУНДАРДЫН ИШТӨӨСҮН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК ИЗИЛДӨӨ**

*Бактыгулов К.*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ  
БАЛОК С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ**

*К. Baktygulov*

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE COMBINED BEAMS WITH  
FLEXIBLE CONNECTIONS**

УДК: 624.012.35-624.012.45

*Бул макалада профилденген болот төшөмөл колдонулган бириктирилген устундарды тикесинен аракет эткен жүктөмдөрдүн таасирине эксперименталдык сыноонун жыйынтыктары сүрөттөлгөн. Курамдуу элементтерден турган конструкциянын иштөөсү, анын жүк көтөрүмдүүлүгүнө сундурма жана тактанын, алардын ортосундагы кырдуу байланыштын тийгизген таасири талданган.*

***Негизги сөздөр:** бириктирилген устундар, болот профилденген төшөмөл, курама темир бетон сундурма, чулу темир бетон такта, жылышуу деформациялары, курамдуу конструкциялар.*

*В настоящей статье описываются экспериментальные исследования комбинированных балок с использованием стальных профилированных настилов на действие вертикальных нагрузок. Анализируется работа составных элементов конструкции, влияние ребристой связи на прочность, жесткость и трещиностойкость прогона и плиты.*

***Ключевые слова:** комбинированные балки, стальной профилированный настил; сборный железобетонный прогон; монолитная железобетонная плита; деформации сдвига, составные конструкции.*

*In the present article the experimental researches on composite beams with using steel profiled flooring in relation to load actions are described. An analysis of work of composite elements, an impact of ribbed ties regarding to strength, stiffness and crack resistance of beam and slab.*

***Key words:** composite beams, profiled steel decking; precast concrete girder; reinforced concrete slab; shear deformation, composite structures.*

Монолитные перекрытия с использованием стального профилированного настила нашли широкое применение за рубежом при строительстве многоэтажных зданий. В дальнем зарубежье в качестве прогона, в большинстве своем, используются стальные балки. Такие решения перекрытий увеличивают металлоемкость, трудоемкость возведения на строительной площадке на единицу площади, требует специального оборудования и специалистов по сварке. Замена стальных балок железобетонными прогонами исключает эти недостатки и расширяет область применения таких конструкций. Такие перекрытия могут быть использованы и при восстановлении разрушенных в результате чрезвычайных ситуаций различного характера, реконструкции и ремонте существующих зданий, которые исключая трудоем-

кие опалубочные работы, сокращают сроки ввода объектов в эксплуатацию.

Целью экспериментального исследования являлась изучение работы комбинированных балок, состоящих из монолитной плиты и железобетонного прогона, соединенных ребрами сдвига. При исследовании решались следующие задачи:

- разработка конструкции сборного железобетонного прогона и его узлов объединения с монолитной плитой с внешним армированием из стального профилированного настила;
- проектирование и изготовление опытных образцов в натуральную величину;
- разработка методики испытания экспериментальных образцов на действие вертикальных нагрузок;
- изучение работы анкерных связей и определение деформативных характеристик связей сдвига комбинированных балок;
- исследование напряженно-деформированного состояния балок разработанной конструкции на действие вертикальных кратковременных статических нагрузок на всех этапах нагружения;
- анализирование экспериментальных данных и подготовка для разработки методики расчета.

Учитывая эти задачи и поставленные цели перед экспериментом, проектирование и изготовление опытных образцов основывались на принципах точного имитирования, по возможности, как по размерам, так и по технологии изготовления, натуральных конструкций.

Предлагаемая конструкция сборного железобетонного прогона, в отличие от имеющихся, исключает трудоемкие сварочные работы на строительной площадке, необходимость в специальных сварочных оборудованьях и специалистах по сварке, трудности при монтаже, снижает металлоемкость, повышает долговечность монолитного перекрытия с использованием стального профилированного настила.

Опытный образец сборного железобетонного прогона Б-2-1 представлял собой балку (без плиты) пролетом 533,0 см, с прямоугольным сечением (рис.1). Целью изготовления отдельного прогона являлась изучение влияния часторебристой плиты на жесткость и прочность комбинированной балки. Армирование прогона осуществлялось одним плоским каркасом (рис. 1, в). Продольная рабочая арма-

тура принималась из стержней периодического профиля класса А-III диаметром 20 мм, площадь поперечного сечения которых определялась расчетом как для изгибаемых составных элементов, при условии полной совместной их работы. Поперечная арматура принималась исходя из опыта известных исследований и практического применения из стержней диаметром 14 мм, арматуры класса А-III. Поперечная арматура одновременно выполняла роль анкерных стержней. Высота анкерующей части

стержня, выше верхней грани прогона, составляла 11,0 см. Шаг стержней-анкеров принимался равным шагу гофров профилированного настила – 17,0 см. На приопорных участках прогона, от опор до мест приложения нагрузок, предусмотрены дополнительные стержни диаметром 6 мм из арматуры класса А-I. Объединение арматурных стержней в плоский каркас для прогона осуществлялось с помощью точечной контактной сварки. Бетонная смесь была приготовлена на портландцементе

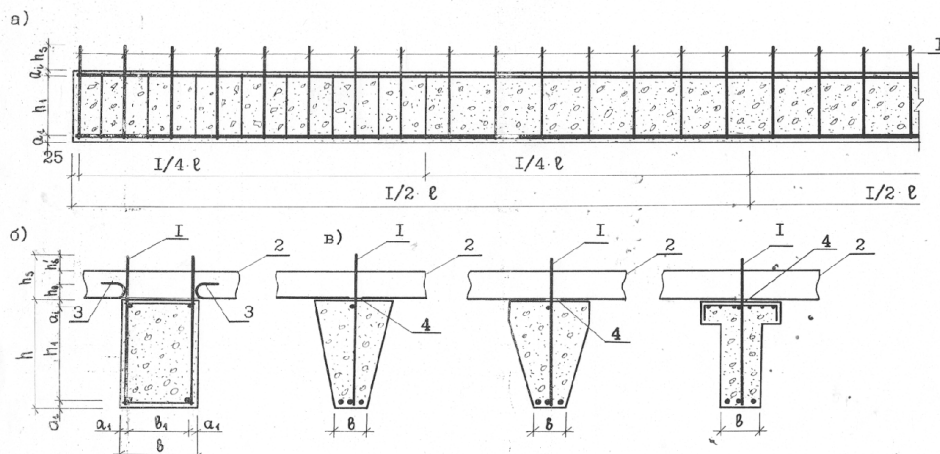


Рис. 1. Конструкция сборного железобетонного прогона Б-2-1

а)-продольный разрез; б)-армирование прогона двумя плоскими каркасами; в)-армирование прогона одним плоским каркасом; 1-стержни-анкеры; 2-стальной профилированный настил; 3-отгибы-лепестки; 4-отверстие.

марки 500, заполнители – гранитный щебень крупностью 15–20 мм и кварцевый песок с  $M_{кр} = 2,14$ . Арматурные стержни испытывались на разрывной машине марки ГРМ-1 в соответствии с требованиями ГОСТ [1].

Внешней арматурой монолитной бетонной плиты служил гладкий стальной профилированный настил Н 79-680-1,0 по ГОСТ 24045-80. Для пропуска анкерных стержней и обеспечения совместной работы бетона и настила плиты в арматуре-

опалубке устраивались отгибы-лепестки, которые выполнялись путем его надреза по линиям гофра и последующим отгибом. Настил укладывался узкими полками вниз (рис. 2).

Экспериментальные образцы Б-2-2 и Б-2-3 представляли собой комбинированные балки таврового сечения, полкой которых служит монолитная плита в опалубке-арматуре из стального профилированного листа, а в качестве ребра – сборный железобетонный прогон (рис. 2).

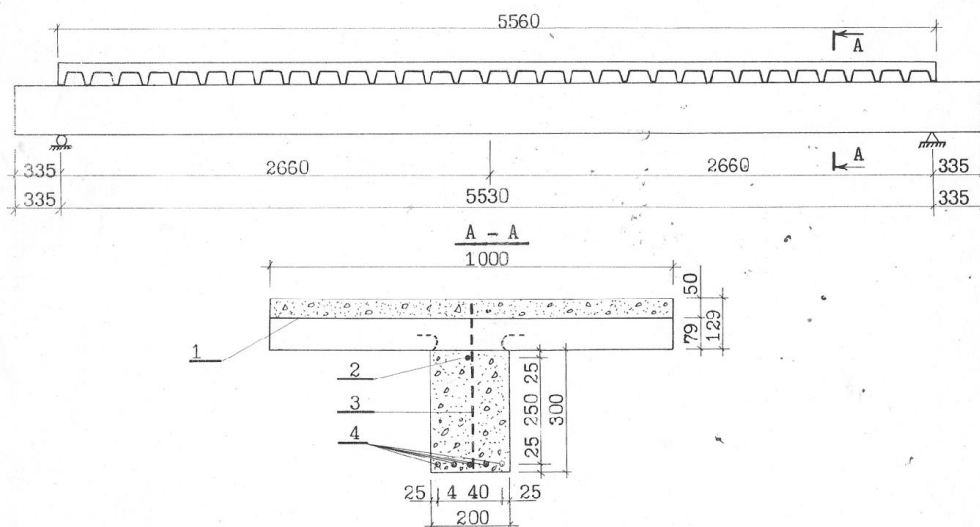
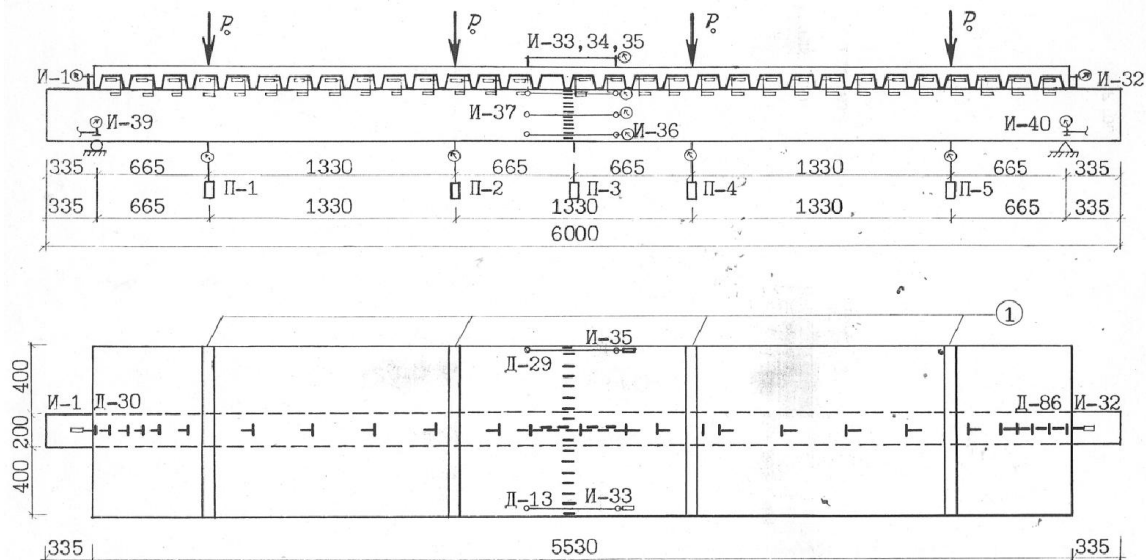


Рис. 2. Опытные образцы комбинированных балок Б-2-2 и Б-2-3

1-стальной профилированный настил; 2-монтажная арматура; 3-стержневой анкер; 4-рабочая арматура

При испытании образцы комбинированных балок Б-2-1, Б-2-2 и Б-2-3 подвергались воздействию кратковременных статических вертикальных нагрузок, приложенных в четырех точках пролета (рис. 3). Такая схема нагружения позволяет практически получить значения поперечных сил

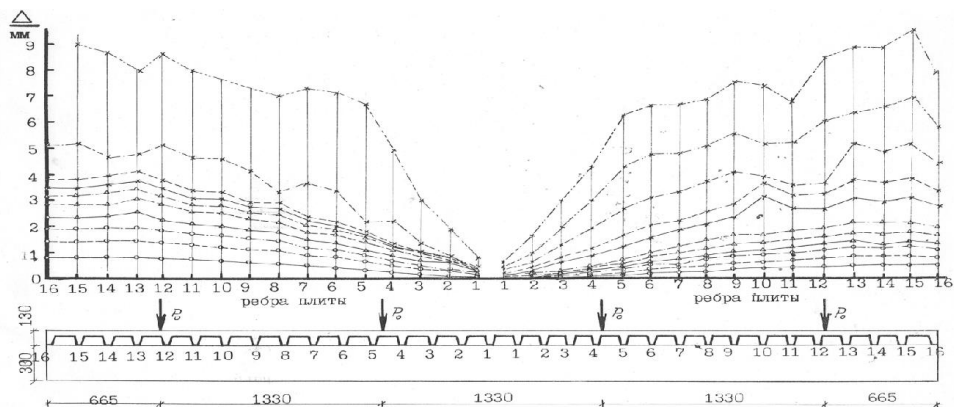


**Рис. 3.** Испытание железобетонного прогона на изгиб и схема размещения контрольно-измерительных приборов на образцах Б-2-2 и Б-2-3

И-индикаторы часового типа; П-прогибомеры; Д-датчики-тензорезисторы и изгибающих моментов, возникающих при равномерно распределенной нагрузке.

Контрольно-измерительные приборы размещались в соответствии с поставленными задачами (рис. 3). Деформации сдвига каждого ребра и торца плиты измерялись индикаторами часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Деформации сжатия и растяжения бетона прогона и плиты в середине пролета измерялись этими же индикаторами на базе 500 мм. Тензорезисторами изучался характер распределения относительных деформаций сжатия по оси симметрии полки по всей длине конструкции. Для образцов Б-2-2 и Б-2-3 с целью измерения изменения деформаций сжатия плиты по её ширине наклеивались тензометрические датчики сопротивления с шагом 6,5 см. Также фиксировалось изменение относительных деформаций бетона по высоте прогона в середине пролета. Деформации растяжения растянутой арматуры контролировались тензорезисторами с базой 20 мм в зоне действия максимального изгибающего момента на длине 70 см. Вертикальные перемещения опытных образцов замерялись прогибомерами Н.Н. Максимова типа ПМ-3 с ценой деления 0,1 мм в пяти точках пролета.

Разрушение образца Б-2-1 – отдельного прогона, произошло, как и ожидалось, в середине пролета между средними грузами с раздроблением бетона сжатой зоны. Перед разрушением ( $M=147,0$  кН·м) ширина раскрытия нормальных трещин в середине пролета достигла  $0,7 \div 1,2$  мм, что свидетельствует о развитии четко выраженных пластических деформациях в растянутой арматуре. Максимальный прогиб прогона в середине пролета составил 71,4 мм, т.е. 1/75 пролета.



**Рис. 4.** Деформации сдвига ребер плиты комбинированных балок при испытании на вертикальные нагрузки  
 —○— -110 кН; --○-- -150 кН; —^— - 190 кН; -·-·-·- - 230 кН; --×-- -270 кН; -·\*·-·- -290 кН

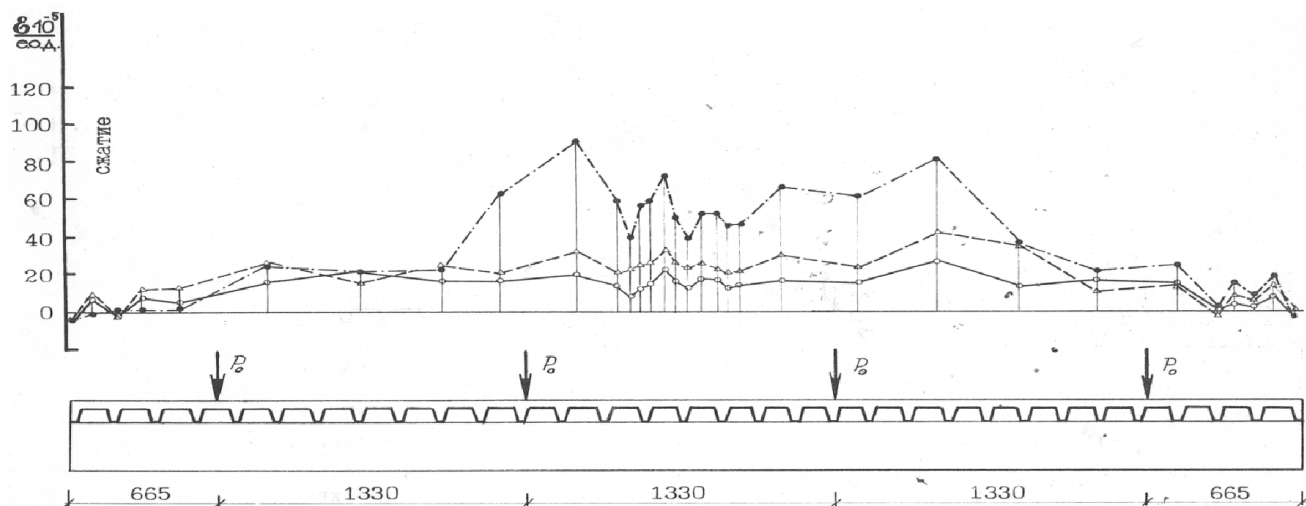


Рис. 5. Распределение относительных деформаций бетона плиты комбинированных балок по их длине

—○— - при 100 кН; ---^--- - при 150 кН; -·-·-·-·- - при 290 кН.

При испытании комбинированных балок с плитой Б-2-2 и Б-2-3 (рис. 3) первые нормальные трещины образовались при величине изгибающего момента в середине пролета  $M = 53,5$  кН·м. На этой же ступени нагружения от поворота крайних ребер появились наклонные трещины откалывания на торцах плиты, развивающиеся от середины к краям вылетов. Наклонные к продольной оси трещины в прогоне образовались при нагрузке, соответствующей 0,58 от разрушающей. Максимальный прогиб комбинированных балок Б-2-2 и Б-2-3 при этой нагрузке соответственно составил 16,3 и 10,3 мм. При этой же нагрузке образовались горизонтальные трещины в бетоне ребер плиты, расположенных ближе к крайним приопорным грузам. Эти трещины образуются в местах сопряжения ребер с полкой плиты, процесс их развития по длине конструкции происходил постепенно. К моменту разрушения опытных образцов зафиксировано поднятие полки плиты от срезавшихся ребер с раскрытием ширины трещины от 3,5 до 5,5 мм. Разрушение конструкций произошло по связям, которое характеризуется срезом бетона всех ребер, расположенных от опоры до мест приложения средних грузов. Связь плиты с прогоном на среднем участке не нарушена, однако в полке плиты в местах сопряжения с ребрами появились вертикальные трещины, что свидетельствует о наличии двух нейтральных осей в поперечном сечении балок. Деформации сдвига торцов плиты при разрушении составили  $4,5 \div 4,7$  мм, а ребер в середине пролета –  $0,2 \div 0,4$  мм. Сдвиги нарастают от середины пролета к опорам, что свидетельствует характеру работы составных стержней (рис. 4). На стадии разрушения связей между плитой и прогоном

раскрытие нормальных трещин в последнем достигло  $0,5 \div 0,8$  мм. Наклонные трещины на приопорных частях прогона дальше не развивались. Если в отдельном прогоне характер трещин повторяют эпюру изгибающих моментов, а в комбинированных балках наряду с изгибающими моментами возникает растяжение как в нижних ветвях составных стержней. Прогибы балок на этой стадии испытания в середине пролета составили  $38 \div 51$  мм. Бетон плиты в продольном направлении испытывает разные деформации – максимальное значение имеет в середине пролета между средними грузами, величиной равной  $0,5 \div 0,8$  промилей, что свидетельствует об его упругой работе (рис. 5). На стадии исчерпания несущей способности связей сдвига комбинированных балок напряжение в рабочей арматуре достигло  $(89 \div 94)\%$  предела текучести стали. Деформации бетона полки в направлении ребер на ширине прогона по величине незначительны и не превышает его сопротивления на растяжение. Бетон полки плиты по её ширине показал практически равномерное деформирование на сжимающее усилие (рис. 6). Стальной настил в зоне действия максимальных сдвигающих усилий испытывает значительные растягивающие и сжимающие напряжения, граница которых проходит примерно по середине верхней полки. По мере удаления от опор и к середине пролета, деформации имеют затухающий характер, и в зоне чистого изгиба балок полки настила практически не деформируются.

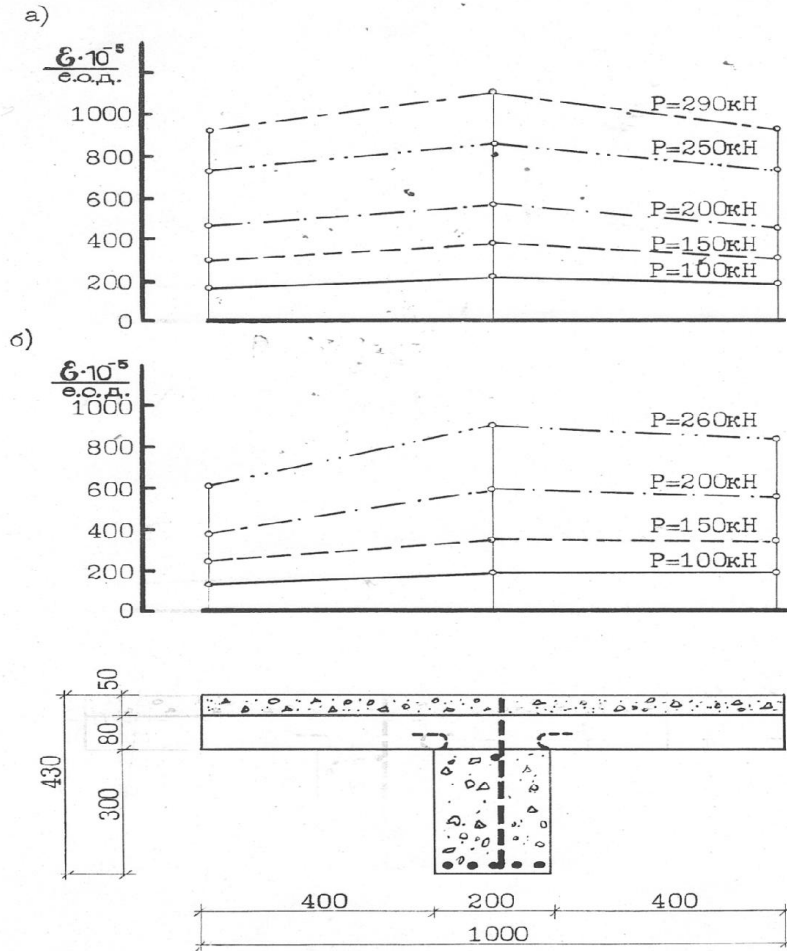


Рис. 6. Изменение средних деформаций сжатия полки плиты по её ширине

Разрушение образцов произошло раздроблением бетона сжатой зоны прогона и достижением предела текучести в рабочей арматуре. Как видно из зависимости «f – M» (рис.7), на графике имеются характерные переломы, отвечающие на начальном этапе загрузки образованию нормальных к продольной оси трещин и перед разрушением: для

отдельного прогона – началу разрушения бетона сжатой зоны; а для комбинированных балок – истощению сопротивления ребер сдвигу. Момент трещинообразования комбинированных балок в 2 раза выше чем у образца Б-2-1 (прогон без плиты). Прогиб отдельного прогона в середине пролета перед

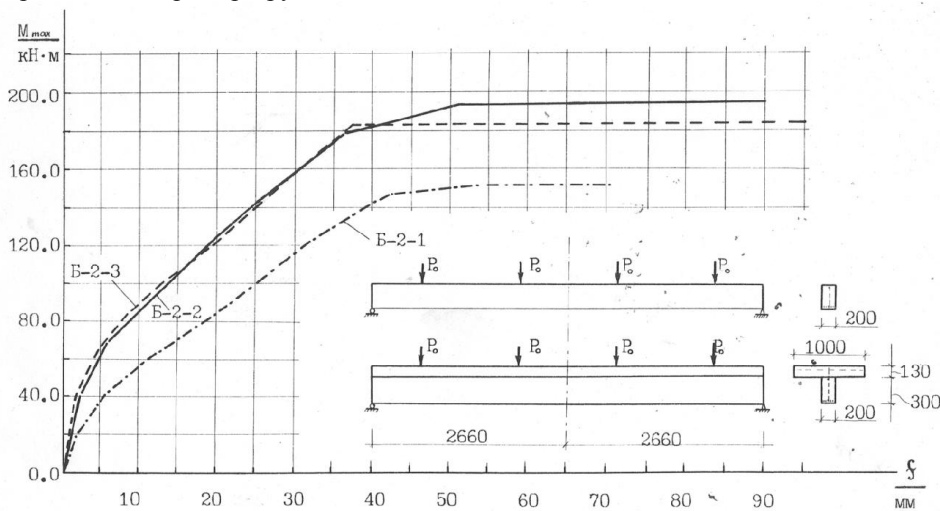


Рис. 7. Прогибы опытных образцов (отдельного прогона и комбинированных балок) в середине пролета

разрушением ( $M = 140 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ) в 1,66 раза больше прогиба комбинированных балок при этой же нагрузке. При одинаковой прочности прогонов вовлечением в их работу монолитной плиты с ребристыми связями несущая способность комбинированных балок повысилась на 22,22% по сравнению с прогоном без плиты.

В результате проведенных исследований сделаны выводы: предлагаемая конструкция сборно-монолитного железобетонного перекрытия с использованием стальных профилированных настилов расширяет область применения таких конструкций, снижает металлоемкость на единицу перекрываемой площади и менее трудоемка при возведении по сравнению с известными решениями; несущая способность и деформативность комбинированных балок зависит от прочности и жесткости связей объединения плиты с прогоном; наряду с обычным разрушением по нормальному сечению для сборно-монолитных железобетонных перекрытий с использованием стальных профилированных настилов возможно и разрушение по связям. В связи с этим при проектировании таких перекрытий следует проверять несущую способность связей на действие усилий среза; приопорные ребра связи, где действуют наибольшие сдвигающие усилия, испытывают неупругие деформации раньше, чем появятся

нормальные к продольной оси прогона трещины в бетоне растянутой зоны; деформации сдвига анкерных связей в зоне чистого изгиба незначительны. При надежном обеспечении прочности на приопорных участках анкерные стержни в средней зоне прогона можно не ставить; под действием вертикальных нагрузок комбинированные балки работают подобно составным стержням, т.е. в их поперечных сечениях наряду с изгибающими моментами возникают и продольные растягивающие усилия; вовлечение в работу прогона монолитной плиты с внешним армированием стальным профилированным настилом Н 79-680-1,0 с помощью гибкого стержневого анкера, заключенного в узких ребрах, увеличивает несущую способность конструкции в 1,22 раза, жесткость – в 1,66 раза и повышает трещиностойкость в 2 раза; деформации сжатия плиты в её середине и на краях вылетов, при ширине равной 1,0 м, по величине отличаются незначительно (на  $30 \pm 35\%$ ).

#### Литература:

1. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение. – Взамен ГОСТ 1497-73; Введ. с 01.01.85. - 40 с.
2. ГОСТ 10180-78. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение. – Введ. с 01.01.870. - 23 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Рыспаев Дж.А.