

**ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В МЕСТАХ  
СМЕНЫ ЗНАКА И ВЕЛИЧИНЫ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА**

**Крантовская Е.Н., Петров Н.Н., Петров А.Н.** (Одесская  
Государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Одесса)

**Излагается методика и план проведения экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок над средней опорой.**

Известно, что работа приопорных участков неразрезных железобетонных элементов в зоне изменения не только величины, но и знака изгибающих моментов существенно отличается от таковой для обычных изгибаемых элементов [1]. При этом, разрушение в этой зоне при одних и тех же конструктивных факторах может плавно перейти от разрушения по наклонной трещине к разрушению по наклонной сжатой полосе. Однако, в действующих нормах это положение пока не нашло своего отражения.

Для решения поставленной задачи на кафедре сопротивления материалов ОГАСА выполняется V серия опытов, в основе которой используется теория математического планирования эксперимента [2, 3], позволяющая теоретически обосновано установить минимально необходимое число и состав опытов для получения исчерпывающей информации о качественном и количественном влиянии исследуемых факторов на выходные параметры как в отдельности, так и их взаимодействии, чего нельзя добиться при использовании традиционной методики. На основании анализа априорной информации из литературных источников с учетом реальной возможности осуществления в качестве исследуемых выбраны факторы, представленные в табл. 1.

Практика показала, что каждый из представленных в табл. 1 факторов может влиять на функцию выхода не линейно. Поэтому ее целесообразно аппроксимировать полиномом второй степени. В связи с этим принят пятифакторный трехуровневый план, близкий по свойствам к Д-оптимальному, типа На 5 [2], обеспечивающий одинаковую точность прогнозирования выходного параметра в области, описываемой радиусом, равным 1 относительно «нулевой» точки.

фактически, обеспечен четырьмя пропорными участками с обязательным разрушением двух из них.

Системность подхода к экспериментальным исследованиям заключается в том, что их результаты являются сопоставимыми по сериям и дополняющими друг друга, поскольку опытные образцы балки идентичны или сопоставимы по конструкции [4].

Опытные образцы представляют собой двухпролетные неразрезные балки с размерами  $2840 \times 180 \times 100$  мм. Длина пролетов балки составляет  $8h_0 + 8h_0 = 2480$  мм, где  $h_0$  - рабочая высота сечения, равная 155 мм как в пролетах, так и над средней опорой. Балки армированы двумя плоскими каркасами с продольной нижней и верхней арматурой 2Ø10, 12, 14 А500С. Поперечная арматура в пролетах среза, примыкающих к средней опоре, состоит из 2 Ø3, 4, 5 ВрI, а на остальных участках - 2 Ø6 А240С [4]. Длина пролетов среза также варьируется:  $1h_0$ ,  $2h_0$ ,  $3h_0$ . Балки запроектированы по рекомендациям [4,5] так, чтобы обеспечить их разрушение по наклонным сечениям.

Для изготовления опытных образцов-балок использовали обычный тяжелый бетон класса В15, В25 и В35 на гранитном щебне фракций 5...10 мм, кварцевом песке с модулем крупности 1,5. В качестве вяжущего использовали обычный портландцемент марки 400 без добавок. Для уменьшения водоцементного отношения, улучшения удобоукладываемости бетонной смеси и сокращения сроков набора прочности бетона во всех опытах использовали комплексную добавку Релаксол-Супер М (аттестат аккредитации НААУ № ИА 6.002.Н.592, сертификат соответствия ISO 9001 № 04.156.026) в количестве 1% от веса цемента в пересчете на сухое вещество.

В процессе бетонирования образцов-балок в каждом опыте из той же бетонной смеси изготавливали по 6 бетонных кубиков  $100 \times 100 \times 100$  мм и 6 призм  $300 \times 100 \times 100$  мм, которые впоследствии испытывали в возрасте 28 суток и за один день до начала основных испытаний в соответствии с требованиями действующих Норм [6,7].

Для уменьшения усадочных деформаций и обеспечения нормальных условий твердения бетона опытных образцов в течение 90...120 суток их выдерживали под целлофановой пленкой с влажными опилками при близкой к 100%-ной влажности и температуре 16...24°C.

Для испытания опытных образцов-балок была запроектирована и изготовлена специальная универсальная силовая установка (рис.1).

Исследуемые факторы в V серии

Код	Исследуемые факторы	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		«-1»	«0»	«1»	
X <sub>1</sub>	Натуральные значения Относительный пролет среза, $a/h_0$	1 (15,5см)	2 (15,5см)	3 (15,5см)	1
X <sub>2</sub>	Класс бетона, В, МПа	В15	В25	В35	10
X <sub>3</sub>	Коэффициент поперечного армирования, $\mu_{sp}$ (BpI)	Ø3мм 0,0018	Ø4мм 0,0032	Ø5мм 0,0050	$\approx 0,0016$
X <sub>4</sub>	Коэффициент нижнего продольного армирования балки, $\mu_s$ (A500C)	2Ø10 0,0101	2Ø12 0,146	2Ø14 0,0199	$\approx 0,0049$
X <sub>5</sub>	Коэффициент верхнего продольного армирования балки, $\mu'_s$ (A500C)	2Ø10 0,0101	2Ø12 0,146	2Ø14 0,0199	$\approx 0,0049$
Дополнительные опыты с однопролетной балкой $L=8.00h_0$ , $a=1h_0$ , $2h_0$ , $3h_0$ .					

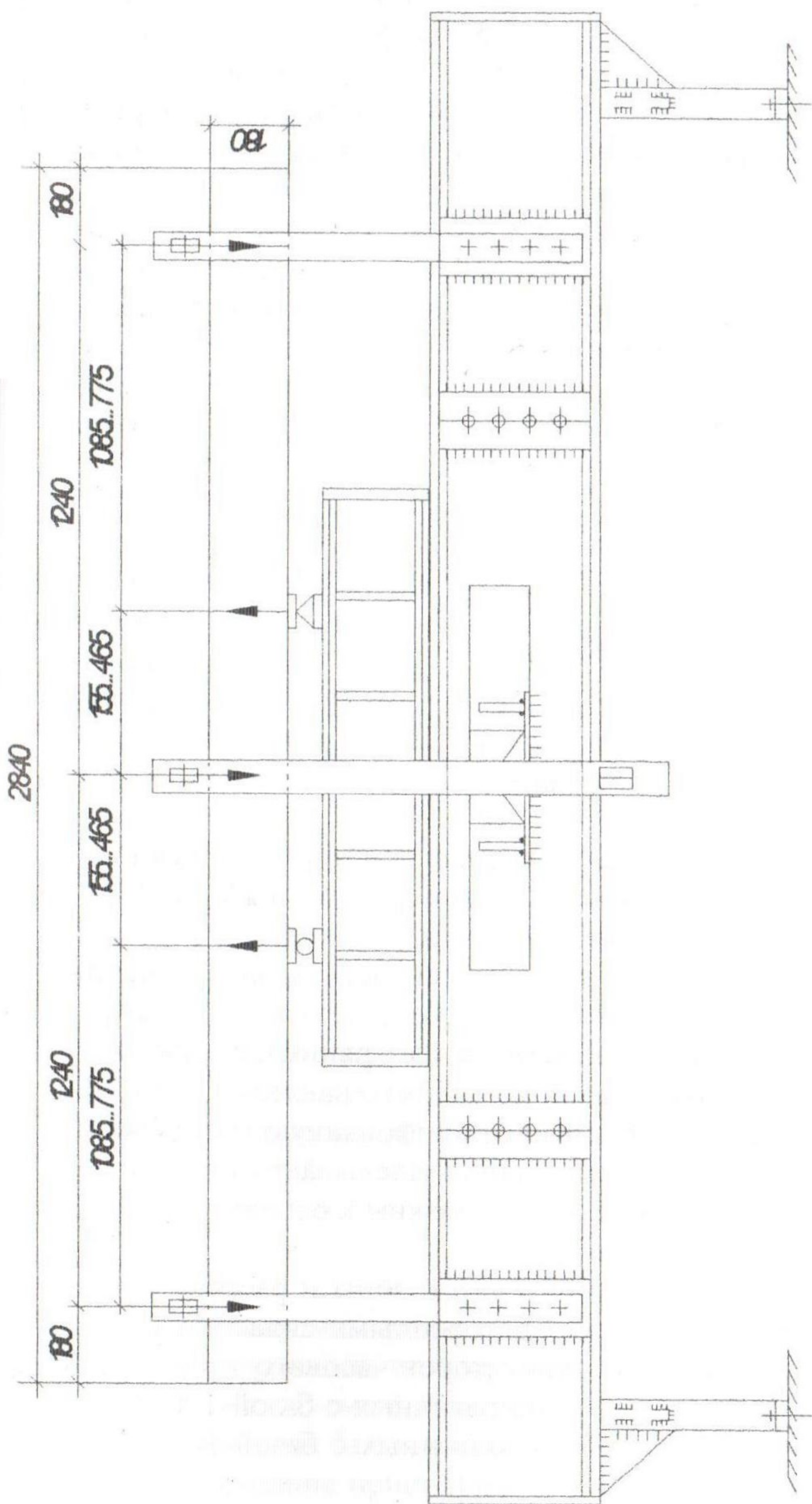


Рис. 1. Силовая установка для испытания на поперечный изгиб  
двухпролетной опытной балки

Плоский поперечный изгиб двухпролетных опытных балок в силовой установке создается с помощью тяжей, имитирующих опоры по краям и посередине балки, гидравлического домкрата ДГ-50 и усиленной металлической двутавровой балки-траверсы, передающей от него на опытную железобетонную балку две одинаковые сосредоточенные силы, контролируемые тарированным манометром насосной станции домкрата.

В соответствии с рекомендациями [7,8] исследуемые образцы-балки нагружаются с помощью домкрата ДГ-50 и распределительной балки-траверсы двумя сосредоточенными силами ступенями: до появления первой наклонной трещины по  $(0,04...0,06) F_{ult}$ , затем - по  $(0,08...0,12)F_{ult}$  до развития предельно допустимых прогибов и, наконец, - по  $(0,04...0,06)F_{ult}$  до разрушения. Выдержка нагрузки на каждой ступени составляет 15мин со всеми измерениями в начале и в конце каждой ступени нагружения.

Перед изготовлением опытных балок на продольную сжатую и растянутую арматуру одного из плоских каркасов были наклеены цепочки тензорезисторов (рис.2) КФ5П1-5-200 (с базой 5мм), с соблюдением рекомендуемой заводом-изготовителем (ООО «Веда», г. Киев) технологии. Цепочки тензорезисторов клеятся таким образом, чтобы была возможность определять продольные и поперечные силы, а также изгибающие моменты, воспринимаемые непосредственно арматурными стержнями [9].

Переход от измеренных в опыте деформаций к напряжениям в арматуре осуществляется по методике [8] с помощью закона Гука. В тех случаях, когда деформации крайних верхних и нижних волокон в стержнях превышают значения, отвечающие пределу пропорциональности, используется фактическое значение  $E_s$  из диаграммы « $\sigma_s$ - $\epsilon_s$ ».

Деформации бетона опытных образцов измеряются с помощью проволочных тензорезисторов с базой 20 и 50мм, наклеенных по общепринятой методике на одну боковую отшлифованную поверхность балки, открытые поры которой до испытания заделываются цементно-гипсо-песчаным раствором, обладающим близким к основному составу бетона модулем упругости.

Контроль за деформациями бетона сжатой зоны и растянутой арматуры посередине пролета, под сосредоточенными силами и у опор осуществляется также с помощью индикаторов часового типа И-1...8 (рис.2) с ценой деления  $1 \cdot 10^{-3}$  мм, установленных с базой 100, 150 и 200мм с ценой деления  $1 \cdot 10^{-3}$  мм, установленных с базой 100, 150 и 200мм.

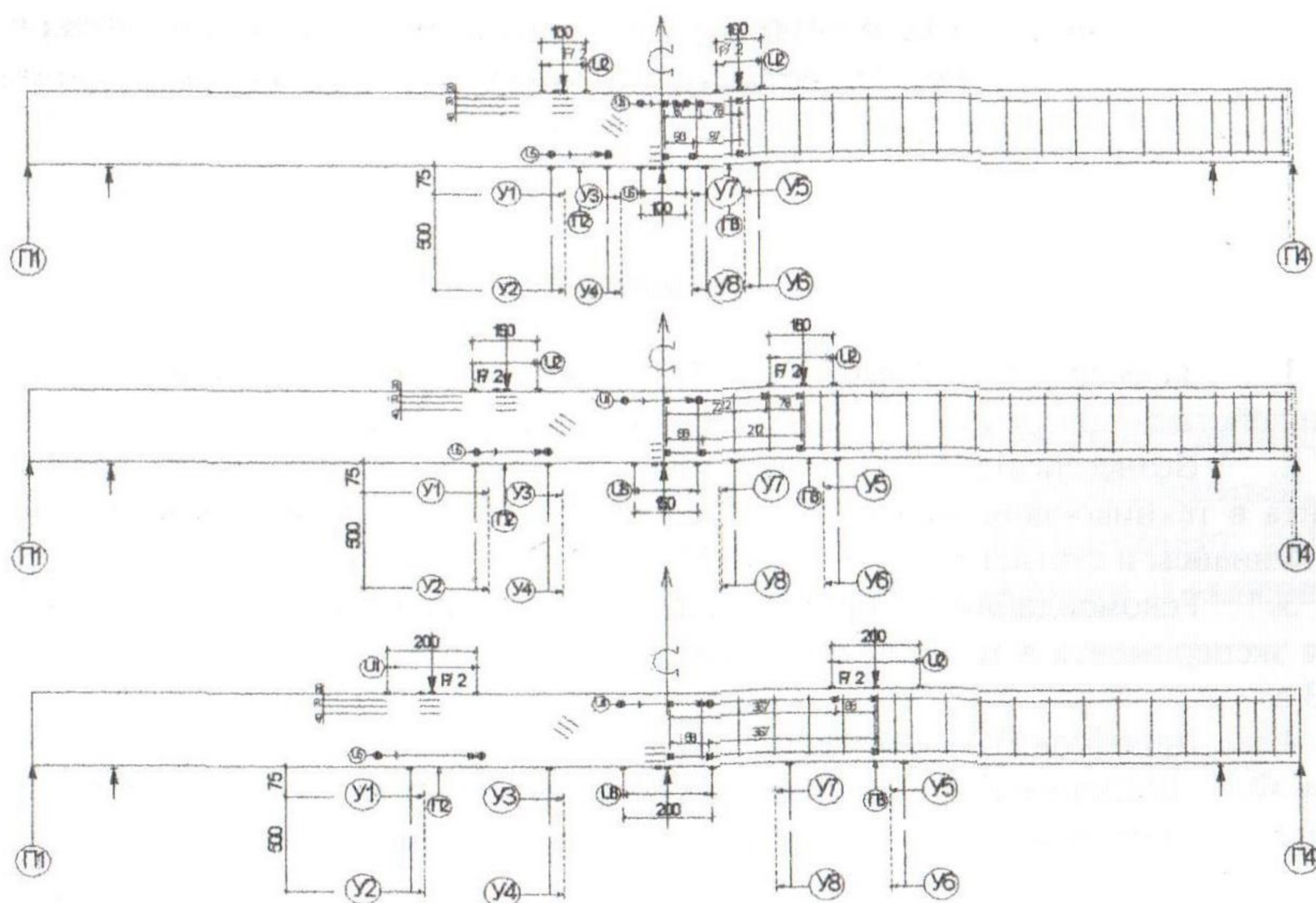


Рис. 2. Схема загрузки, расстановки приборов и наклейки тензорезисторов в опытных неразрезных двухпролетных балках с малым (а), средним (б) и большим (в) пролетами среза

Вертикальные перемещения нижней грани балки измеряются посередине пролета, под сосредоточенными силами и на свободных краях образца с помощью индикаторов часового типа П-1...5 с ценой деления 0,01мм (рис.2).

Углы поворота опорной, приопорной и пролетных частей балки в ее плоскости определяется с помощью индикаторов часового типа

У-1...12 с ценой деления  $1 \cdot 10^{-3}$  мм, установленных на расстоянии 500мм между собой по высоте на выносных консолях (рис.2).

### Выводы

1. Выполняемые экспериментальные исследования актуальны. Они позволят установить количественное и качественное влияние наиболее важных исследуемых факторов на форму разрушения неразрезных железобетонных балок над средней опорой, напряженно – деформированное состояние приопорных участков в местах смены знака и величины изгибающего момента.

2. Результаты проведенных исследований лягут в основу предложений по уточнению существующей методики расчета наклонных сечений указанных балок.

### *Литература*

1. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – Киев, : Будівельник, 1989.-105с.
2. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. 6-2-е издание, испр. и доп. – М: Финансы и статистика, 1981, с. 215.
3. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. –М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1981. – 103 с.
4. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Аветисян А.Г., Крантовская Е.Н., Карпюк Ф.Р., Шепетюк Н.И., Ярошевич Н.М. О необходимости и постановке системных экспериментальных исследований прочности, трещиностойкости и деформативности приопорных участков изгибаемых железобетонных элементов, испытывающих сложные деформации с целью уточнения и развития методов их расчета. // Будівельні конструкції/ Зб. наук. праць. Вип. 62- Київ, НДІБК, 2005. С. 160-167.
5. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкции без предварительного напряжения арматуры/ Госстрой Украины. технический комитет по стандартизации «Арматура для железобетонных конструкции».- Киев. НИИСК, 2002.- 39с.], [4.ДСТУ3760-98. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Общие технические условия/ Госстрой Украины. - Киев. 1998. - с.
6. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции/ Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.- 79с.
7. Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций (НИИЖБ).- М.: Госстройиздат, 1962, с.127-132., 7. ДСТУ Б.В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). Изделия строительные бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.- Киев: Госстрой Украины, 1994.
8. Дорофеев В.С. Исследование изгибаемых элементов конструкций из мелкозернистого известкового бетона при воздействии поперечных сил: Автореферат дисс. канд. техн. наук.- Одесса, 1972,- 32с.