

# БУДІВНИЦТВО І БУДІНДУСТРІЯ

УДК 624.012.45

М.Ю. Избаш, д.т.н.,

Р.Н. Шемет, к.т.н.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛОКАЛЬНО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, insrta@inbox.ru

*Рассмотрены результаты экспериментальных исследований локально предварительно напряженных сталежелезобетонных неразрезных балок и методика их расчета. Проведены экспериментально-теоретические исследования, в результате которых предложены решения по повышению эффективности и надежности сталежелезобетонных неразрезных балок их локальным предварительным напряжением дополнительной внешней арматурой повышенной прочности класса А500С. Сделан вывод, что разработанные конструкции эффективны, технологичны и обладают достаточно высокой степенью надежности. Разработана методика расчета.*

**Ключевые слова:** локальное предварительное напряжение, неразрезные балки, сталежелезобетон, расчет.

### Введение и постановка задачи

Применение неразрезных многопролетных балок в ряде случаев предпочтительнее использования однопролетных. При этом на опорах возникают изгибающие моменты, существенно превышающие по абсолютной величине моменты в пролетах. Жесткость опорного сечения сталежелезобетонных балок ниже, чем у пролетного. Повысить прочность и жесткость сталежелезобетонного элемента на опоре позволяет использование локального обжатия.

### Результаты исследований и их обсуждение

Сталежелезобетонные изгибаемые элементы [1] отличаются высокой эффективностью благодаря рациональному сочетанию железобетонной полки, воспринимающей сжимающие усилия, и соединенной с ней стальной балки чаще всего двутаврового профиля, воспринимающей растяжение. В сталежелезобетонных неразрезных многопролетных балках на промежуточных опорах сжатие воспринимает стальная балка, а железобетонная полка – растяжение. По мере нагружения бетон выключается из работы, усилия в основном воспринимаются стальной балкой, что предопределяет пониженную прочность и жесткость опорного сечения сталежелезобетонной неразрезной балки.

Известно, что изгибающие моменты на промежуточных опорах балок имеют существенно большие значения, чем величины пролетных моментов. Так, в двухпролетной балке постоянного сечения, загруженной равномерной нагрузкой, значение опорного момента

составляет  $M_{on} = \frac{ql^2}{8}$ , пролетного  $M_{np} = \frac{ql^2}{14,2}$ . Таким образом, величина опорного

изгибающего момента в 1,78 раза больше, чем пролетного.

При исчерпании несущей способности жесткость опорного сечения балки уменьшается в большей степени, чем пролетного, вследствие чего происходит перераспределение моментов с опоры в пролет, где жесткость больше. Однако данного перераспределения недостаточно и необходимо усиление опорной зоны балки. Его выполняют локальным обжатием арматурой повышенной прочности класса А500С, что позволяет снизить металлоемкость усиления.

Моделью усиленной локальным обжатием опорного участка неразрезной сталежелезобетонной балки в экспериментах служил изгибаемый элемент с железобетонной полкой в растянутой зоне [2].

Основным показателем данной конструкции является ее несущая способность. В результате проведенных экспериментов было установлено, что локальное предварительное напряжение дополнительной арматурой повышает несущую способность сталежелезобетонного изгибаемого элемента с железобетонной полкой в растянутой зоне в 1,36 раза.

Не менее важна трещиностойкость находящейся в растянутой зоне железобетонной полки. Экспериментально было установлено, что уровень локального предварительного напряжения значительно влияет на трещиностойкость железобетонной полки сталежелезобетонного

изгибаемого элемента. Нагрузка трещинообразования  $F_{crs}$  возрастает вдвое.

Был сделан вывод, что локальное предварительное напряжение сталежелезобетонных элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне является эффективным. Указанное открыло возможность повышения несущей способности неразрезных сталежелезобетонных балок [3].

Основной задачей экспериментальных исследований являлась оценка степени влияния локального обжатия и его уровня на несущую способность, жесткость, трещиностойкость неразрезных сталежелезобетонных балок, анализ их работы под нагрузкой.

В связи с поставленными задачами была выполнена экспериментальная оценка предложенных неразрезных сталежелезобетонных балок с локальным обжатием в зонах промежуточных опор и в пролетах, изучена их работа под нагрузкой, а также разработана методика расчета с учетом направленного формирования перераспределения моментов.

Исследовались две схемы расположения участков двухпролетной балки, где производилось локальное обжатие. Балки БД-1 - без обжатия; балки БНД-1 - с обжатием в зоне промежуточной опоры; балки БНД-2 - с обжатием в зоне промежуточной опоры и в пролетах.

Каждая сталежелезобетонная балка состояла из стального двутавра № 14 и железобетонной полки толщиной 60 мм, шириной 250 мм. Связь между стальным двутавром и железобетонной полкой обеспечивалась с помощью противосдвиговых анкеров предложенной конструкции.

Предварительное напряжение в опорной части балок создавалось двумя стержнями  $\varnothing 12$  мм класса А500С, приваренными к верхней полке двутавра через промежуточные пластины. Предварительное напряжение в пролетах балок осуществлялось двумя стержнями  $\varnothing 10$  мм класса А500С. Указанные стержни приваривались к стенке двутавра с двух сторон в каждом пролете.

Локальное предварительное напряжение в будущей средней опорной зоне создавалось до бетонирования, в пролетах - после бетонирования железобетонной полки. Оттягивание напрягаемой арматуры выполнялось ручным винтовым домкратом (рис.1).

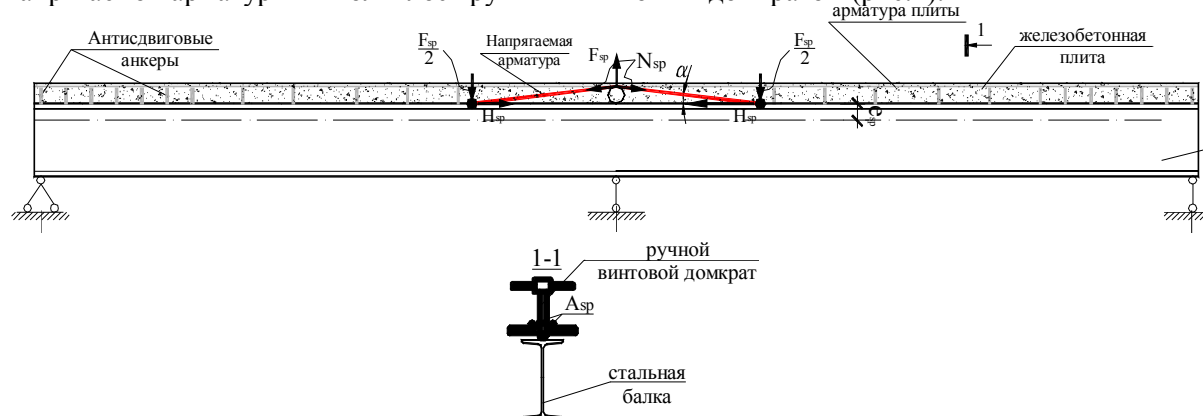


Рис. 1. Сталежелезобетонная неразрезная балка с локальным обжатием только на опоре

Испытания проводились с использованием стенда (рис.2), закрепленного к силовому полу.

Данные таблицы 1 показывают эффект локального обжатия. Характер работы балок виден на рис. 3.

За счет обжатия у балок БНД-1 значение разрушающей нагрузки возросло на 25%, БНД-2 - на 30%, из чего можно заключить, что скорость роста эффекта локального обжатия снизилась, поэтому целесообразно осуществлять обжатие только в зоне промежуточных опор.

В испытаниях всех образцов зафиксировано, что перед образованием лещадок в сжатой зоне бетона в пролетах напряжения в напрягаемых стержнях, а затем в стальной балке достигали предела текучести. Данный результат весьма важен для построения методик расчета неразрезных конструкций, которые рассматриваются в настоящей работе.

Физическая нелинейность, образование трещин в железобетонных полках, исключение указанных полок из работы на опорах неразрезных многопролетных сталежелезобетонных балок, пластические деформации арматуры стальных двутавров обуславливают

Таблица 1

Результаты испытаний балок

Марка образца	Схема обжатия	Разрушающая нагрузка $F_u$ , кН	Нагрузка трещинообразования $F_{crs}$ , кН
БД-1	без обжатия	345	40
БНД-1	на опоре	432	180
БНД-2	на опоре и в пролетах	450	200

перераспределение усилий с опорных сечений, обладающих меньшей жесткостью, в пролетные сечения, имеющие соответственно большие жесткости.

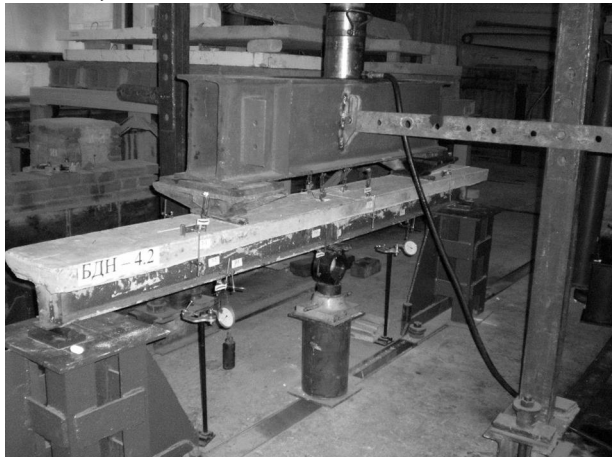


Рис.2. Общий вид испытания

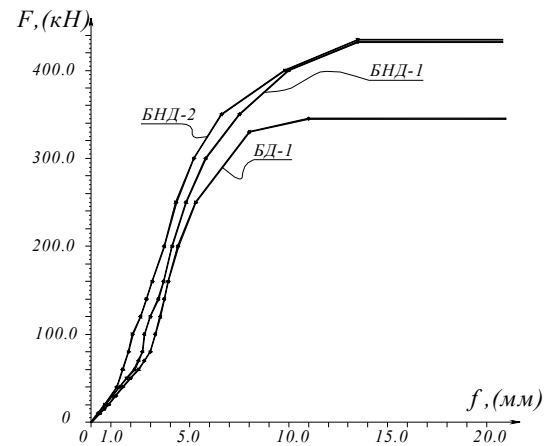


Рис.3. Рост прогибов в середине пролетов балок под нагрузкой

В частности, происходит перераспределение моментов с опорных зон, где вследствие определенного выключения из работы растянутой железобетонной полки (в результате чего усилия воспринимает в основном стальной двутавр), в пролетные зоны, где железобетонные полки сжаты и сечения конструкции работают как сталежелезобетонные. Очевидно, что жесткость и прочность сталежелезобетонных сечений существенно выше, чем сечений стальных двутавров (при наличии трещин в растянутой железобетонной полке). Вследствие указанного будет иметь место перераспределение усилий в виде уменьшения опорных изгибающих моментов и соответственно увеличения пролетных. Однако указанного уменьшения недостаточно для обеспечения работоспособности опорных зон и конструкции в целом вследствие возникновения значительных пластических деформаций в стальном двутавре на промежуточных опорах, что обусловлено самой статической схемой неразрезных балок, в соответствии с которой величины изгибающих моментов на опорах существенно больше, чем в пролетах.

Изложенное диктует необходимость рационального усиления опорных зон. Усиление опорных зон предлагается осуществлять локальным предварительным напряжением стальной балки на промежуточных опорах (рис.4).

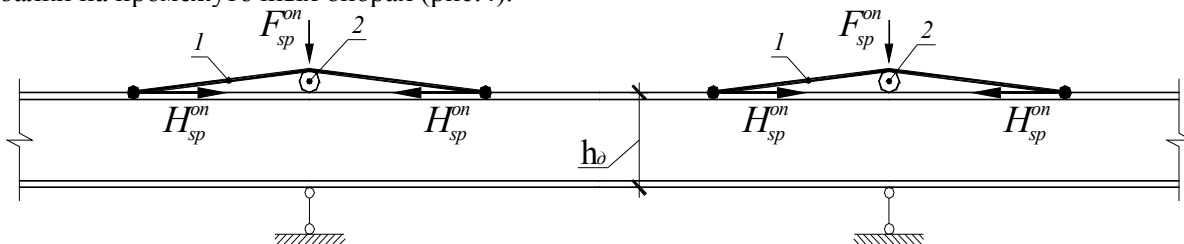


Рис. 4. Локально обжатая на промежуточных опорах неразрезная стальная балка  
1 – напрягаемые арматурные стержни, 2 – упор, 3 – стальная двутавровая балка

Результаты экспериментальных исследований открывают возможность построения методики расчета несущей способности сталежелезобетонных локально предварительно напряженных неразрезных балок на основе использования метода предельного равновесия.

Шарниры пластичности образуются одновременно в пролетной части сталежелезобетонной балки, где возникает предельный изгибающий пролетный момент  $M_{ни}$  и на опорах  $M_{опи}$ . При этом величина предельного изгибающего опорного момента  $M_{опи}$  определяется в основном силовыми возможностями стального двутавра, так как железобетонная полка с трещинами оказывает лишь небольшую помощь. Порядок расчета аналогичен определению разрушающей нагрузки для железобетонных неразрезных балок.

Следует отметить, что в расчетах железобетонных неразрезных балок часто принимается равномоментная схема распределения усилий.

В расчетах сталежелезобетонных неразрезных балок равномоментную схему реализовать затруднительно, так как несущая способность пролетного сталежелезобетонного сечения

существенно больше аналогичной характеристики практически (вследствие наличия трещин в железобетонной растянутой полке) стального опорного сечения.

В связи с указанным назначение величины опорного момента  $M_{опи}$  равным значению  $M_{ни}$  будет предопределять развитие в опорной части стального двутавра чрезмерных пластических деформаций. Чтобы предотвратить указанное, предлагается производить усиление опорных участков их локальным предварительным напряжением, создающим изгибающий момент  $M_{спи}^{он}$ , обратный по знаку опорному моменту  $M_{опи}$ .

Благодаря указанному схема распределения усилий между промежуточными пролетами и опорами может быть только более приближенной к равномоментной. В пролете образование пластического шарнира соответствует достижению предельной величины изгибающего момента в сталежелезобетонном сечении  $M_{ни}$  с полкой в сжатой зоне.

Принимается, что образование пластических шарниров в надопорных участках происходит при  $M_{опи} = M_{ни} - M_{спи}^{он}$ . В целях обеспечения эксплуатационной пригодности конструкций должно выполняться условие ограничения пластических деформаций в виде ограниченного шарнира пластичности. При этом величины  $M_{спи}^{он}$  и обжатия  $H_{спи}^{он}$  определяются последовательными приближениями до выполнения указанного условия образования ограниченного шарнира пластичности. Изложенное выше по сути является предлагаемым принципом направленного формирования перераспределения усилий.

Образование ограниченного шарнира пластичности на рядовой промежуточной опоре неразрезной балки обеспечивает как нормальную ее эксплуатацию, так и определенную степень перераспределения усилий в ней.

Ограничение возможностей шарнира пластичности по своей сущности является условием выполнения требований второй группы предельных состояний.

Для пролета, расположенного между двумя промежуточными опорами,  $q_u = \frac{8}{l^2}(2M_{ни} - M_{спи}^{он})$ . Вторым важным случаем является формирование усилий в крайнем пролете неразрезной балки с крайней шарнирной опорой. При равномерно распределенной нагрузке максимальный изгибающий момент возникает в сечении на расстоянии 0,414l от крайней опоры и составляет  $M_{max} = 0,069q_u l^2$ , условие равновесия

$$M_{ни} = 0,069q_u l^2 - 0,414(M_{ни} - M_{спи}^{он}),$$

откуда величина разрушающей нагрузки  $q_u = \frac{1}{0,069l^2}(1,414M_{ни} - 0,414M_{спи}^{он})$ .

## Выводы

Установленные в экспериментах закономерности деформирования и разрушения испытанных образцов свидетельствуют о влиянии локального предварительного напряжения на работу значительным при увеличении уровня обжатия.

Испытания показали, что локальное обжатие значительно повышает трещиностойкость железобетонной полки опорной зоны.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенных схем формирования предварительного напряжения сталежелезобетонных неразрезных балок, предпочтительность обжатия сталежелезобетонных изгибаемых элементов: несущая способность возросла в 1,3 раза. Эффект может быть более только в опорной зоне.

Разработана методика расчета.

## Список использованной литературы

1. Eurocode 4: Расчет и конструирование комплексных несущих конструкций из стали и бетона. ENV 1994-1-1.-Перевод с нем.-Полтава: ПГТУ, 1997.-180 с.
2. Избаш М.Ю. Моделирование работы сталежелезобетонных неразрезных балок в зоне промежуточных опор / Избаш М.Ю. // Коммунальное хозяйство городов.-Вып.76.-К.: Техніка, 2007.-С. 22-33.
3. Избаш М.Ю. Повышение эффективности сталежелезобетонных неразрезных балок / Избаш М.Ю. // Будівельні конструкції.-Вип.67.-К.: НДІБК, 2007.-С. 620-625.