

**УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**ШЕМЕТ РУСЛАН НИКОЛАЕВИЧ**

УДК 624.012.46+624.014.2

**СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ НЕРАЗРЕЗНЫЕ ЛОКАЛЬНО  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ БАЛКИ**

Специальность 05.23.01 - строительные конструкции,  
здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков – 2007

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины.

**Научный руководитель:**

кандидат технических наук, доцент  
**Избаш Михаил Юрьевич,**  
Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор  
**Стороженко Леонид Иванович,**  
Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, профессор кафедры конструкций из металла, дерева и пластмасс;

кандидат технических наук, доцент  
**Берестянская С.Ю.,**  
Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, доцент кафедры строительной механики и гидравлики.

**Ведущая организация:**

Харьковская национальная академия городского хозяйства кафедра строительных конструкций, Министерство образования и науки Украины, г. Харьков

Защита состоится « 12 » апреля 2007 г. в 15-30 на заседании специализированного ученого совета Д 64.820.02 Украинской государственной академии железнодорожного транспорта по адресу: 61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Украинской государственной академии железнодорожного транспорта по адресу: 61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7.

Автореферат разослан «    » марта 2007 г.

Ученый секретарь  
специализированного ученого  
совета, канд. техн. наук, доцент

Ватуля Г.Л.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Сталежелезобетонные конструкции широко применяются в мировой строительной практике в перекрытиях и покрытиях гражданских и производственных зданий, пролетных строениях мостов и др.

Высокая эффективность сталежелезобетонных изгибаемых элементов обеспечивается рациональной схемой их работы, в соответствии с которой железобетонная полка-плита воспринимает сжимающие усилия, стальной прокатный профиль – растягивающие, т.е. их деформативно-прочностные свойства используются наиболее эффективно.

Особенность сталежелезобетонных неразрезных балок состоит в том, что несущая способность их опорных сечений существенно меньше, чем пролетных, так как железобетонная полка находится в растянутой зоне.

Повышение эффективности сталежелезобетонных изгибаемых элементов достигается их локальным предварительным напряжением. Однако локальное обжатие неразрезных сталежелезобетонных балок не исследовано, вследствие чего в строительной практике не применялось.

Изложенное свидетельствует об актуальности разработки и исследования локально предварительно напряженных сталежелезобетонных неразрезных балочных конструкций.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Диссертация выполнена в рамках тематического плана МОН Украины, тема: «Локальное предварительное напряжение сталежелезобетонных и железобетонных конструкций» (номер госрегистрации 0106U012651). Личный вклад диссертанта: разработка и внедрение сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок, которые обеспечивают снижение металлоемкости, перекрытие пролетов увеличенной длины; создание методики их расчета с учетом физической нелинейности, деформированной схемы и истории нагружения.

**Цель работы** – разработка, исследование и внедрение эффективных сталежелезобетонных неразрезных многопролетных локально предварительно напряженных балок, обеспечивающих снижение металлоемкости и перекрытие пролетов увеличенной длины, а также создание методики их расчета с учетом перераспределения усилий и истории нагружения.

### **Задачи настоящего исследования:**

1. Предложить принципы повышения эффективности, снижения металлоемкости сталежелезобетонных статически неопределимых балок их локальным предварительным напряжением шпренгельным подкреплением из

арматуры повышенной прочности класса А500С.

2. Экспериментально исследовать закономерность работы локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне, оценить влияние локального обжатия на их несущую способность и трещиностойкость железобетонной полки.

3. Разработать противосдвиговые анкеры, повышающие степень совместности работы железобетонной плиты и стальной балки, соответствующую методику их расчета.

4. Экспериментально выявить закономерности деформирования и разрушения предложенных неразрезных сталежелезобетонных балок с локальным обжатием на опорах, в пролетах, на опорах и в пролетах одновременно, оценить их эффективность.

5. Разработать методику расчета несущей способности неразрезных сталежелезобетонных балок с учетом направленного перераспределения усилий и истории нагружения.

6. Внедрить результаты настоящей диссертационной работы.

**Объект исследования** - сталежелезобетонные неразрезные локально предварительно напряженные балки.

**Предмет исследования** - повышение эффективности сталежелезобетонных статически неопределимых балок локальным предварительным напряжением внешней арматурой повышенной прочности, выполняющей роль шпренгельного подкрепления.

**Методы исследований** - сочетание разработки методики расчета на основе использования теории предельного равновесия, нелинейной деформационной расчетной модели и лабораторных, а также натуральных экспериментов.

**Научную новизну** результатов настоящей диссертационной работы составляют:

- предложенные принципы повышения эффективности, неразрезных сталежелезобетонных балок их локальным предварительным напряжением внешней арматурой повышенной прочности класса А500С;

- результаты экспериментальных исследований влияния уровня локального предварительного обжатия на работу сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне на их несущую способность и трещиностойкость железобетонной полки;

- принципы направленного формирования перераспределения усилий в сталежелезобетонных локально предварительно напряженных неразрезных балках путем образования ограниченного шарнира пластичности;

- разработанная методика расчета несущей способности неразрезных сталежелезобетонных изгибаемых локально предварительно напряженных балок с учетом направленного перераспределения усилий и истории нагружения;
- выявленные в экспериментах закономерности работы и разрушения локально предварительно напряженных неразрезных сталежелезобетонных балок при кратковременном статическом нагружении;
- использование в разработанных методиках расчета сочетания метода предельного равновесия и нелинейной деформационной расчетной модели;
- принцип повышения степени совместности работы железобетонной плиты и стальной балки с помощью противосдвиговых анкеров предложенной конструкции и соответствующая методика расчета;

**Практическое значение** работы состоит в том, что разработанные принципы конструирования и расчета обеспечивают возможность создания неразрезных сталежелезобетонных балочных конструкций сниженных металлоемкости и энергозатратности, возведения перекрытий без использования крупногабаритных грузоподъемных механизмов; разработки методов усиления эксплуатируемых сталежелезобетонных конструкций.

**Результаты настоящего исследования внедрены** при реконструкции трехпролетного Рогатинского моста и замены перекрытия в жилом здании в г. Харькове.

#### **Личный вклад диссертанта:**

- предложены и теоретически обоснованы принципы повышения несущей способности сталежелезобетонных неразрезных балок локальным предварительным напряжением стержневой внешней арматурой повышенной прочности класса А500С;
- проведены экспериментальные исследования сталежелезобетонных локально предварительно напряженных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне;
- проведены экспериментальные исследования неразрезных сталежелезобетонных балок с локальным обжатием на опорах, на опорах и в пролетах;
- разработана методика расчета сталежелезобетонных неразрезных балок с локальным обжатием на опорах, в пролетах и на опорах;
- предложена эффективная конструкция противосдвиговых анкеров и методика их расчета;
- участие во внедрении результатов работы.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных разработок,

внедрения докладывались на 58-й (2003 г.) и 59-й (2004 г.) научно-технических конференциях Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры, Международных конференциях «Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве» (Белгород, 2002 г.), «Ресурс и безопасность эксплуатации конструкций, зданий и сооружений» (Харьков, 2003 г.), «Ресурс и безопасность эксплуатации конструкций, зданий и сооружений» (Харьков, 2005 г.), на международном научно-практическом семинаре «Методы повышения ресурса городских инженерных инфраструктур» (Харьков, 2006 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 10 в изданиях, рекомендованных ВАК Украины.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных литературных источников из 172 наименований. Общий объем составляет 171 страницу, в том числе 147 страниц основного машинописного текста, 92 рисунка, 3 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность проведения теоретических и экспериментальных исследований, разработок по созданию эффективных сталежелезобетонных неразрезных локально предварительно напряженных балок для перекрытия пролетов увеличенной длины; определены цель, задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, приведены данные об апробации и публикации материалов диссертации.

**В первом разделе** представлен анализ различных типов сталежелезобетонных конструкций, применяемых в пролетных строениях мостов, перекрытиях зданий и сооружений. В последние годы они стали широко использоваться в реконструкции для замены либо усиления перекрытий. Исследованию сталежелезобетонных и сталебетонных конструкций, разработке методов их расчета посвящены работы Аметова Ю.Г., Белени Е.И., Голоднова К.А., Избаша М.Ю., Клименко Ф.Е., Стрелецкого Н.Н., Стрелецкого Н.С. Стороженко Л.И., Сурдина В.М., Чихладзе Э.Д., Шагина А.Л. и др.

В целях уменьшения высоты сечений, повышения жесткости и несущей способности изгибаемых сталежелезобетонных элементов Избашем М.Ю. и Шагиным А.Л. было предложено применение локального предварительного напряжения. Его эффективность подтверждена практикой применения в однопролетных сталежелезобетонных балках.

Существует большое число способов предварительного напряжения.

Способ локального обжатия менее энергоемок, он позволяет направленно формировать напряженное состояние в зонах действия максимальных усилий вручную с помощью ручных винтовых домкратов, без затрат электроэнергии.

Указанное и предопределяет перспективность применения локального обжатия проектируемых и усиления эксплуатируемых неразрезных сталежелезобетонных балок.

При этом возникает необходимость разработки методики их расчета с учетом перераспределения изгибающих моментов, использования нелинейной деформационной расчетной модели.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил сформулировать задачи настоящей работы.

**Во втором разделе** приведены методика и результаты проведенных экспериментальных исследований по установлению целесообразности локального обжатия сталежелезобетонных балок с железобетонной полкой в растянутой зоне, закономерностей их деформирования и разрушения. Описана методика расчета противосдвиговых анкеров разработанной конструкции, обеспечивающих совместную работу железобетонной плиты и стальной балки. Дополнительная эффективность предложенных анкеров достигается использованием работы бетона железобетонной плиты на смятие.

Испытывались три типа балок: балка Б-1 без предварительного напряжения, БН-1 с напряжением в арматурных стержнях  $\sigma_{sp1} = 70$  МПа при стрелке оттягивания  $f = \square 20$  мм, балка БН-2 с  $\sigma_{sp2} = 210$  МПа и  $\square f = \square 40$  мм. Указанное позволяло по результатам испытаний установить степень влияния локального обжатия на трещиностойкость растянутой железобетонной полки, несущую способность, жесткость сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне.

Каждая сталежелезобетонная балка состояла из стального двутавра № 16 и железобетонной полки толщиной 60 мм, шириной 250 мм. Связь между стальным двутавром и железобетонной полкой обеспечивалась с помощью антисдвиговых анкеров предложенной конструкции, приваренных к полке двутавра. Длина каждой балки составляла  $l = 2500$  мм.

Предварительное напряжение создавалось двумя стержнями  $\varnothing 16$  мм класса А500С, приваренными к наружной грани полки двутавра.

Испытания производились по схеме однопролетной балки, загруженной силой в середине длины пролета, в специально сформированном стенде (рис. 1). Нагружение создавалось гидравлическим домкратом ДГ-25, запитанным от насосной станции ПНСР-400. Общий вид испытаний и расстановка измерительных приборов показаны на рис. 1, где видно, что железобетонная полка находится в растянутой зоне.

В результате проведенных экспериментов было установлено, что локальное предварительное напряжение дополнительной арматурой способно существенно влиять на несущую способность сталежелезобетонного изгибаемого элемента с железобетонной полкой в растянутой зоне. Величина разрушающей нагрузки сталежелезобетонной балки без предварительного обжатия составила  $F_{u0} = 70$  кН, у локально предварительно напряженных балок БН-1 соответственно  $F_{u1} = 90$  кН, у БН-2 -  $F_{u2} = 95$  кН. Таким образом, несущая способность была повышена на 35%.

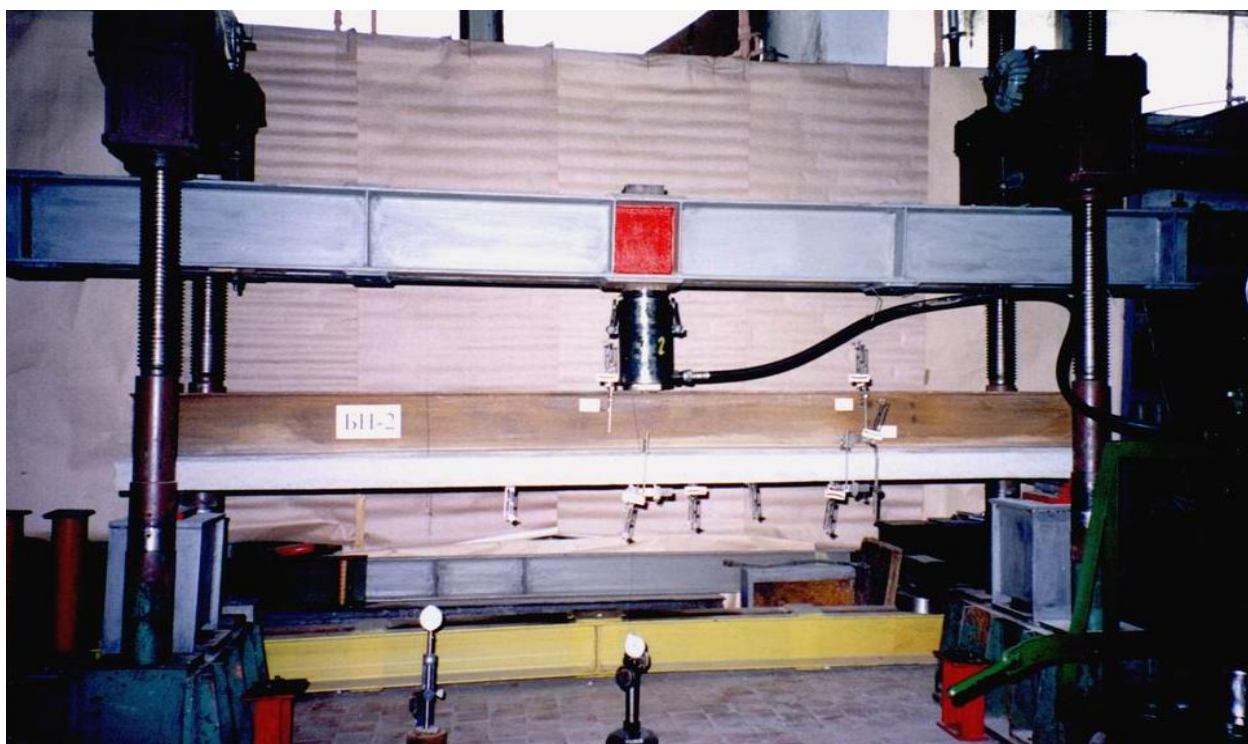


Рис. 1. Общий вид испытания сталежелезобетонной балки с железобетонной полкой в растянутой зоне

Величина нагрузки трещинообразования у сталежелезобетонной балки без предварительного напряжения составила  $F_{cr1} = 8$  кН, у локально предварительно напряженных балок БН-1 и БН-2 соответственно  $F_{cr2} = 10$  кН, и  $F_{cr3} = 16$  кН. Нагрузка трещинообразования у балки БН-2 в 2,0 раза больше, чем у БН-1. Таким образом, локальное обжатие может повлиять на работу опорной зоны неразрезных сталежелезобетонных балок. Именно данные результаты проведенных экспериментальных исследований открывают возможность повышения эффективности сталежелезобетонных неразрезных многопролетных балок в целом.

Особенность работы неразрезных балок состоит в том, что, например, при



действии равномерно распределенной нагрузки значения отрицательных изгибающих моментов на промежуточных опорах могут значительно превосходить по абсолютной величине положительные изгибающие моменты в пролетах.

В то же время несущая способность опорных сечений сталежелезобетонных балок существенно меньше, чем пролетных, так как железобетонная полка оказывается в растянутой зоне, в ней появляются трещины, т.е. выключается из работы. Поэтому прочность опорных зон предлагается увеличивать путем осуществления их локального предварительного напряжения оттягиванием привариваемой дополнительной арматуры повышенной прочности класса А500С (рис. 2).

В работе предлагаются различные схемы расположения участков, на которых осуществлено локальное предварительное напряжение.

Первая схема предусматривает локальное обжатие только опорных участков неразрезных сталежелезобетонных балок (рис.2), которое производится до устройства железобетонной плиты. Благодаря указанной последовательности уровень предварительного обжатия будущей растянутой опорной зоны может быть достаточно высоким, так как оно воспринимается только стальной балкой.

В соответствии с второй схемой осуществляется локальное обжатие будущей опорной зоны на уровне верхней полки стальной балки, затем производится локальное обжатие в серединах длин пролетов неразрезной балки, которая в данном случае оказывается локально предварительно напряженной как на промежуточных опорах, так и в пролетах.

Возможна схема, согласно которой локальное обжатие производится только в пролетах неразрезных сталежелезобетонных балок, а опорные зоны остаются без обжатия. Указанное может иметь место при усилении неразрезных балок, которые находятся в эксплуатации. В большинстве случаев осуществить обжатие в опорной зоне чрезвычайно затруднено. Локальное обжатие в пролетах уменьшает величины опорных моментов, что эквивалентно усилению опорных зон.

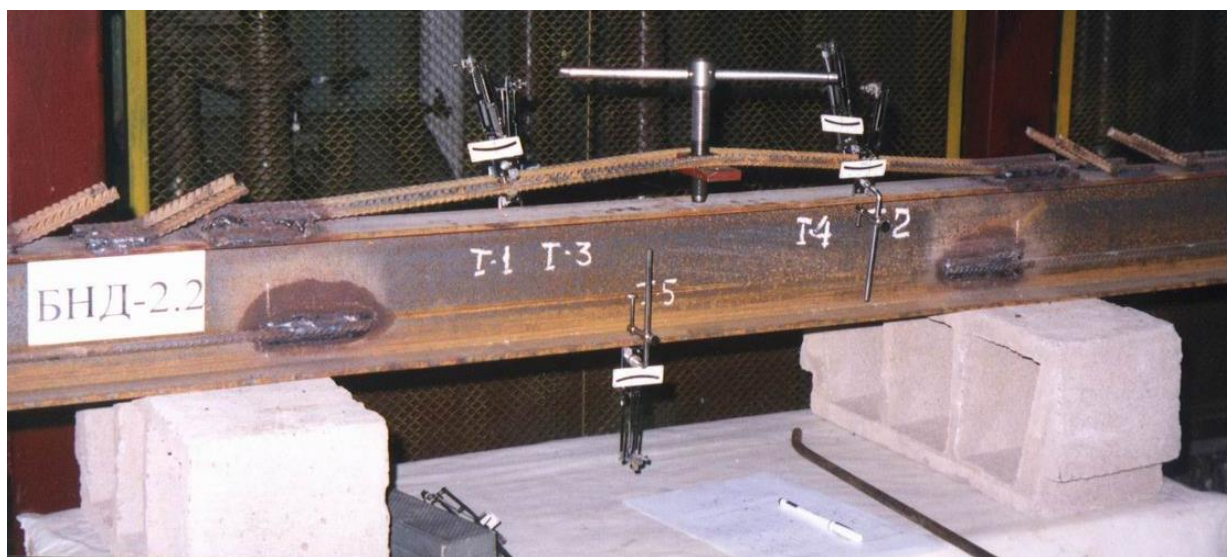


Рис. 2 Оттягивание напрягаемой арматуры с контролем деформаций тензометрами рычажного типа

В целях повышения эффективности сопротивления сдвигу в работе предлагается противосдвиговый анкер с дополнительным упорным участком, воспринимающим сдвиг за счет работы бетона на смятие. Разработана методика расчета анкера.

**Третий раздел** посвящен экспериментальным исследованиям, цель которых состояла в установлении закономерностей деформирования и исчерпания несущей способности двухпролетных локально предварительно напряженных сталежелезобетонных балок, оценке эффективности их локального обжатия.

Испытывались три серии балок, по две в каждой серии. Первую серию представляли двухпролетные сталежелезобетонные балки БД-1.1 и БД-1.2 без предварительного напряжения; вторую - балки БНД-1.1 и БНД-1.2, локально обжатые над промежуточной опорой; третью - представляли балки БНД-2.1 и БНД-2.2, которые были локально преднапряжены на опоре 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, приваренных к верхней полке двутавра с шагом  $S = 120$  мм по всей длине балки. Конструкции образцов балок для испытаний представлены на рис. 3.

Предварительное напряжение в опорной части балок создавалось двумя стержнями  $\varnothing 12$  мм класса А500С, приваренными к верхней грани полки двутавра через промежуточные пластины.

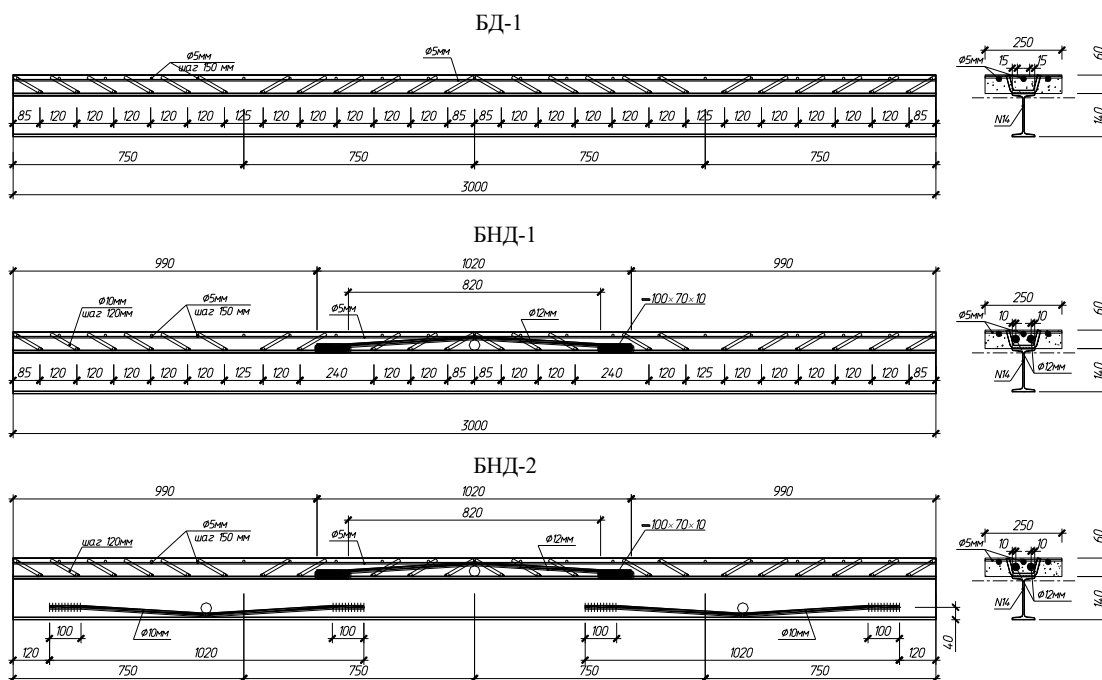


Рис. 3 Конструкции образцов балок для испытаний

Предварительное напряжение в пролетах балок создавалось 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 с помощью специальных ручных винтовых домкратов (рис. 2). Деформации измерялись с помощью закрепленных к оттягиваемой арматуре рычажных тензометров с ценой деления 0,001 мм, базой 20 мм (рис. 2).

По достижении заданных величин деформаций в арматуре и стрелок оттягивания в серединах длин напрягаемой арматуры между ней и полкой двутавра устанавливался стальной упор, после чего домкрат убирался.

Испытания проводились на стенде (рис. 4).



Рис. 4 Общий вид испытания двухпролетной сталежелезобетонной балки

Основные результаты испытания неразрезных двухпролетных сталежелезобетонных балок приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, нагрузка трещинообразования у балки БНД-1 по отношению к балке БД-1 увеличилась в 3,5 раза, разрушающая нагрузка соответственно на 25%.

Таблица 1

Результаты испытаний балок

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

Характер работы балок виден на рис. 5, рис. 6, рис. 7, рис. 8.

У балок БНД-2 величина нагрузки трещинообразования возросла по

сравнению с балкой без локального обжатия БД-1 в 5 раз, значение разрушающей нагрузки возросло на 30%. Таким образом, скорость роста эффекта локального обжатия снизилась, что делает целесообразным осуществлять обжатие только на промежуточных опорах. Указанное ведет к снижению материальных, финансовых и энергетических затрат.

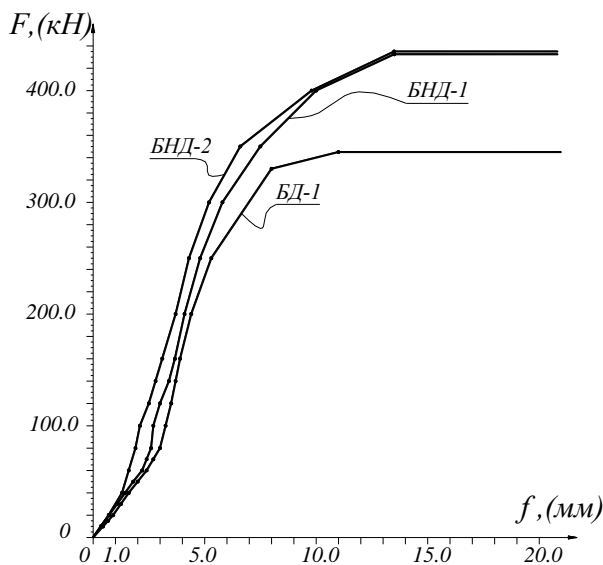


Рис. 5 Рост прогибов в середине пролетов балок, вызываемых их нагружением

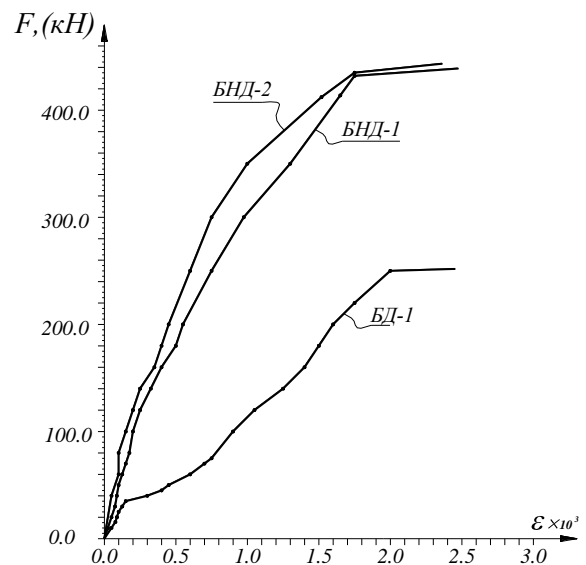


Рис. 6 Рост деформаций ненапрягаемой арматуры железобетонной полки под нагрузкой

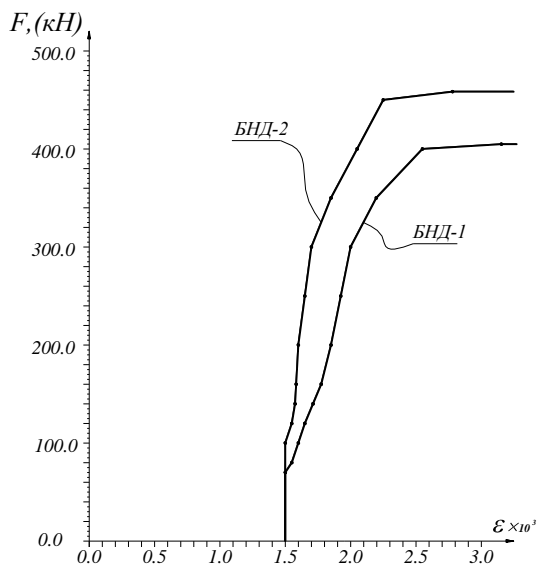


Рис. 7 Рост деформаций предварительно напряженной надпорной арматуры

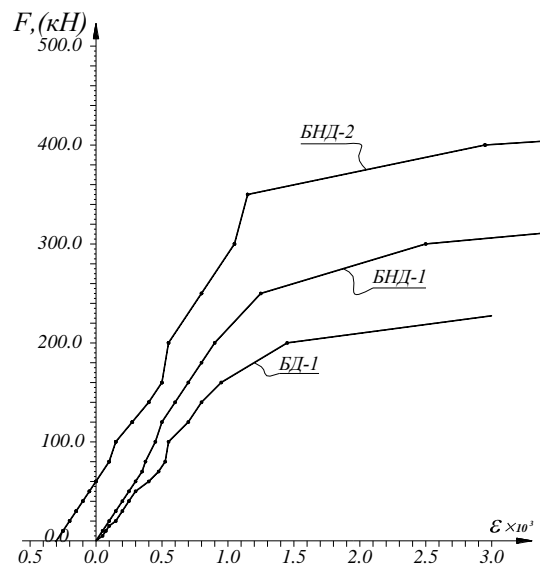


Рис. 8 Рост деформаций нижней грани пролетной части стальной балки, вызываемых

под нагрузкой

их нагружением

В испытаниях всех образцов зафиксировано, что при образовании лещадок в сжатой зоне бетона в пролетах напряжения в арматуре, стальной балке и напрягаемых стержнях достигали предела текучести.

Данный результат чрезвычайно важен для построения методик расчета неразрезных конструкций, которые рассматриваются в настоящей работе.

**Четвертый раздел** посвящен разработке методики расчета несущей способности неразрезных сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок с учетом перераспределения усилий и истории нагружения. Формирование характера перераспределения усилий в неразрезных сталежелезобетонных балках базируется на выполнении условия образования на промежуточных опорах ограниченного шарнира пластичности, который в тоже время обеспечивает нормальную эксплуатационную пригодность конструкции.

Так как в экспериментах была зафиксирована одновременность наступления предельных состояний в элементах конструкции, представляется возможным строить методику ее расчета на основе использования метода предельного равновесия и нелинейной расчетной деформационной модели.

Предлагается использовать схему распределения усилий, согласно которой шарниры пластичности образуются одновременно в серединах пролетов сталежелезобетонной балки, где возникает предельный изгибающий пролетный момент  $M_u^n$ , и на промежуточных опорах в стальных частях сталежелезобетонной балки, так как ввиду образования трещин на опоре бетон выключается из работы.

Чтобы предотвратить появление чрезмерных пластических деформаций предлагается осуществлять локальное предварительное напряжение опорных участков, создающее изгибающий момент  $M_{sp}$ , обратный по знаку опорному моменту.

Так как прочность пролетного сечения существенно больше прочности опорного сечения, равномоментную схему, как в неразрезных железобетонных балках, реализовать затруднительно.

Поэтому опорный изгибающий момент  $M_u^{on}$  с учетом действия момента  $M_{sp}^{on}$ , вызываемого локальным обжатием, принимается в виде

$$M_u^{on} = M_u^n - M_{sp}^{on} \quad (1)$$

Изгибающий момент  $M_{spi}^{оп}$  и соответственно сила обжатия  $H_{spi}$  определяются последовательными приближениями, исходя из условия образования ограниченного пластического шарнира, не вызывающего чрезмерных деформаций.

Данный тип шарнира и условие его образования используется в расчетах соответствующих металлических конструкций. Так как на промежуточной опоре железобетонная полка, расположенная в растянутой зоне и имеющая трещины, выключается из работы, условие образования ограниченного пластического шарнира на промежуточных опорах может быть принято таким же, как и для стальных балок. Таким образом, ограниченный пластический шарнир одновременно обеспечивает нормальную эксплуатацию сталежелезобетонных локально предварительно напряженных на промежуточных опорах неразрезных балок и перераспределение изгибающих моментов в них, приводящее к увеличению несущей способности.

Условие предельного равновесия для сечения в середине длины пролета дает соотношение, позволяющее определить величину разрушающей, например, равномерно распределенной нагрузки  $q_u$  для неразрезной многопролетной шарнирно опертой сталежелезобетонной локально обжатой на промежуточных опорах балки

$$q_u = \frac{8}{l^2} (2M_u^п - M_{spi}^{оп}), \quad (2)$$

где  $M_{spi}^{оп}$  – подбираемый последовательными приближениями одновременно с  $H_{spi}$  изгибающий момент, вызываемый локальным предварительным напряжением на опорах;

$M_u^п$  – предельный изгибающий момент в сечении в пролете, где отсутствует локальное обжатие.

Критерием подбора величин  $M_{spi}^{оп}$  и  $H_{spi}$  является удовлетворение условию образования ограниченного пластического шарнира.

Из зависимости (2) видно, что степень перераспределения усилий в сталежелезобетонных локально обжатых неразрезных балках меньше, чем в аналогичных железобетонных, вследствие ограниченности шарнира пластичности.

Определение значения предельного (разрушающего) изгибающего пролетного момента  $M_u^п$  производится с использованием нелинейной деформационной расчетной модели.

Особенность разработанной методики расчета состоит также в учете



двухстадийности работы сталежелезобетонных балок, обусловленной тем, что нагрузка от собственного веса свежееуложенного бетона и стальной балки на стадии I воспринимается одной стальной балкой и деформации в ней от данной части суммарной нагрузки будут большими, чем аналогичные были бы в составе сталежелезобетонной конструкции, когда бетон уже набрал прочность.

Локальное предварительное напряжение опорной зоны производится до монтажа стальной балки, т.е. в ненагруженном состоянии.

В бетоне и внутренней арматуре железобетонной плиты начальные напряжения для стадии II равны нулю.

**Пятый раздел** посвящен определению областей и перспектив рационального применения разработанных локально предварительно напряженных сталежелезобетонных неразрезных балок в строительстве и реконструкции.

Результаты настоящей работы внедрены при замене перекрытия в жилом здании и реконструкции трехпролетного сталежелезобетонного Рогатинского моста через р. Лопань (рис.9) в г. Харькове.

Длина среднего пролета моста составляла 15,6 м, крайние пролеты имели длину по 13,1 м каждый. Толщина железобетонной плиты составляла 170 мм.

Усиление каждой балки осуществлялось локальным обжатием с помощью оттягивания приваренных к ней 6 стержней  $\varnothing 32$  мм. Оттягивание производилось двумя винтовыми домкратами. Суммарное усилие натяжения 110 т.

Локальное предварительное напряжение (рис.9) осуществлялось без остановки движения по мосту.





Рис.9 Оттягивание напрягаемой арматуры ручными винтовыми домкратами с контролем деформаций тензометрами

Выполненные работы подтвердили технологичность и эффективность разработанных конструкций.

## ВЫВОДЫ

1. Разработан эффективный тип несущих конструкций – сталежелезобетонные неразрезные многопролетные локально предварительно напряженные балки, повышенные несущая способность и жесткость которых, достигаются обжатием дополнительной внешней арматурой класса А500С не по всей длине конструкции, а только в зоне действия максимальных изгибающих моментов в пролетах и на опорах.

2. Сила поперечного оттягивания стержней на порядок меньше создаваемого ею усилия натяжения, вследствие чего оттягивание на опорах и в пролетах может осуществляться ручными винтовыми домкратами, т.е. без использования электроэнергии.

Как показал опыт внедрения способа, создаваемое поперечным оттягиванием вручную продольное усилие обжатия может достигать 100 т и более.

3. Разработана методика расчета противосдвигового анкера предложенной конструкции.

4. В проведенных экспериментальных исследованиях двухпролетных локально предварительно напряженных балок установлены закономерности их деформирования и разрушения в зависимости от схем предварительного обжатия. Локальное обжатие только средней надопорной зоны привело к увеличению значения разрушающей нагрузки на 25%, при локальном обжатии над опорой и в пролетах на 30%, т.е. скорость роста эффекта снижается. Поэтому в большинстве случаев рационально ограничиваться локальным обжатием сталежелезобетонных неразрезных балок только в зонах промежуточных опор.

5. Разработана методика расчета несущей способности неразрезных сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок с учетом физической, геометрической нелинейности и истории нагружения. В основу методики положено сочетание метода предельного равновесия и нелинейной расчетной деформационной модели.

6. Реализация результатов настоящей работы на объектах г. Харькова

подтвердила технологичность и эффективность разработанного способа повышения несущей способности сталежелезобетонных неразрезных балок.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Избаш М.Ю., Асанов В.В., Шемет Р.Н. Технологическое и локальное предварительное напряжение сталежелезобетонных изгибаемых элементов // Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве. - Сб.научн.тр. Часть. 1.-Белгород, 2002.-С.107-111.

**Личный вклад** – разработка технологических принципов рационального обжата сталежелезобетонных изгибаемых элементов.

2. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Оценка несущей способности локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов // Коммунальное хозяйство городов. - Вып.43.-Харьков: «Техніка» 2002.-С. 52-55.

**Личный вклад:** - построение алгоритма расчета прочности локально обжатых сталежелезобетонных изгибаемых элементов на основе использования метода предельного равновесия и нелинейной деформационной модели.

3. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Сталежелезобетонные локально обжатые статически неопределимые конструкции с надпорными участками без зацепления // Науковий вісник будівництва. - Вип. 21.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2003.-С.39-43.

**Личный вклад:** анализ работы балок при статическом нагружении.

4. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Асанов В.В., Шемет Р.Н. Особенности предварительного напряжения сталежелезобетонных конструкций // Будівельні конструкції.-К.: НДІБК, 2003.-Вип. 59.-С.565-570.

**Личный вклад:** оценка формирования напряженного состояния в сталежелезобетонном изгибаемом элементе при обжате и нагружении.

5. Шемет Р.Н. Двухпролетные сталежелезобетонные конструкции // Науковий вісник будівництва.-Вип. 23.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2003.-С.128-131.

6. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Реконструкция трехпролетного Рогатинского моста в г. Харькове // Науковий вісник будівництва.-Вип. 28.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2004.-С.166-172.

**Личный вклад:** определение требуемых параметров натяжения, натурные исследования деформаций конструкций моста.

7. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н., Богданов А.Н. Несущая способность локально предварительно напряженных изгибаемых элементов //

Науковий вісник будівництва. - Вип. 32.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2005.- С.49-61.

**Личный вклад:** разработка методики расчета несущей способности локально предварительно напряженных сталежелезобетонных балок с использованием нелинейной деформационной расчетной модели.

8. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Повышение несущей способности сталежелезобетонных балочных конструкций // Науковий вісник будівництва. - Вип. 33.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2005.-С.85-90

**Личный вклад:** предложены конструктивно-технологические решения по повышению эффективности сталежелезобетонных неразрезных балок.

9. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Экспериментальная оценка эффективности локального предварительного напряжения неразрезных сталежелезобетонных балок // Науковий вісник будівництва. - Вип. 35.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2006.-С.106-114.

**Личный вклад:** установление в испытаниях закономерностей работы двухпролетных локально предварительно напряженных сталежелезобетонных балок.

10. Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Особенности работы сталежелезобетонных балок с железобетонной полкой в растянутой зоне// Науковий вісник будівництва. - Вип. 37.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2006.- С.49-52.

**Личный вклад:** экспериментальная оценка эффективности локального обжатия сталежелезобетонных балок с железобетонной полкой в растянутой зоне.

11. Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н. Оценка несущей способности двухпролетных сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок // Науковий вісник будівництва. - Вип. 38.-Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2006.-С.81-89.

**Личный вклад:** построение алгоритма расчета несущей способности двухпролетных сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок.

## АНОТАЦІЯ

**Шемет Р.Н. Сталезалізобетонні нерозрізні локально попередньо напружені балки. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2007.

Дисертація присвячена нерозрізним сталезалізобетонним балкам, підвищена ефективність яких досягається за допомогою локального попереднього обтиснення в зонах дії максимальних згинальних моментів тільки на опорах, тільки у прольотах, на опорах і в прольотах одночасно.

Проведені експериментальні дослідження нерозрізних сталезалізобетонних балок показали, що локальне обтиснення підвищує їх несучу здатність на 25...30%, запропоновані протизсувні анкери надійно забезпечують сумісність роботи залізобетонної полиці і сталеві балки.

Розроблена методика розрахунку несучої здатності нерозрізних сталезалізобетонних локально попередньо напружених балок дозволяє враховувати фізичну нелінійність і історію навантаження. В основу методики покладено поєднання методу граничної рівноваги і нелінійної розрахункової деформаційної моделі. При цьому враховується не тільки фізична, але і геометрична нелінійність.

Результати роботи впроваджені при реконструкції трьохпрольотного Рогатинського моста та заміні перекриття у житловому будинку в м. Харкові.

**Ключові слова:** сталезалізобетонна нерозрізна балка, локальне попереднє напруження, гранична рівновага, несуча здатність, тріщиностійкість, історія навантаження.

## АННОТАЦІЯ

**Шемет Р.Н. Сталежелезобетонные неразрезные локально предварительно напряженные балки. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2007.

Диссертация посвящена неразрезным многопролетным сталежелезобетонным балкам, повышенная эффективность которых достигается локальным предварительным обжатием в зонах действия максимальных изгибающих моментов только на опорах, только в пролетах, на опорах и в пролетах одновременно.

Особенностью работы статически неопределимых неразрезных многопролетных балок является то, что величины изгибающих моментов, возникающих на промежуточных опорах, значительно больше тех, которые возникают в пролетах. В то же время прочность опорных сечений, где железобетонная полка находится в растянутой зоне и после образования трещин практически выключается из работы, существенно меньше, чем

пролетных. На промежуточных опорах сечения сталежелезобетонных балок трансформируются в стальные. Повышения прочности сечений на промежуточных опорах предлагается достигать локальным обжатием дополнительной арматурой повышенной прочности класса А500С, что ведет к снижению металлоемкости сталежелезобетонной конструкции.

Для оценки эффективности локального обжатия дополнительной арматурой класса А500С сталежелезобетонных однопролетных балок с железобетонной полкой в растянутой зоне были выполнены эксперименты, которые выявили в данном конкретном случае повышение несущей способности на 35%, трещиностойкости – в 2 раза.

Данные результаты показали возможность повышения несущей способности неразрезных сталежелезобетонных балок. При этом предложены различные схемы расположения обжатых зон: только на промежуточных опорах; одновременно на промежуточных опорах и в пролетах; только в пролетах.

В проведенных экспериментах сопоставлялись сталежелезобетонные двухпролетные балки с обжатием на средней опоре, на опоре и в пролетах, без локального обжатия.

Обеспечение совместности работы железобетонной полки и стальной балки достигалось с помощью противосдвиговых анкеров, конструкция и методика расчета которых предложена в настоящей работе.

Локальное обжатие только на средних опорах повысило несущую способность балок на 25% по сравнению с балкой без обжатия, нагрузку трещинообразования в 4,5 раз. У балок, обжатых на опоре и в пролетах – соответственно на 30% и в 5 раз. Поэтому целесообразно ограничиваться обжатием только на опорах, что ведет к снижению материальные и энергетические затраты.

Экспериментально установлено, что в момент разрушения бетона сжатой зоны напряжения в арматурах и стальной балке достигают предела текучести. Указанная одновременность позволила построить методику расчета на основе использования метода предельного равновесия с привлечением нелинейной деформационной расчетной модели.

При этом предложено формировать характер перераспределения усилий между опорными и пролетными зонами с помощью локального обжатия. Подбор обжатия производится из условия образования на опорах ограниченных шарниров пластичности, обеспечивающих как нормальную эксплуатацию конструкции, так и перераспределение усилия.

Результаты настоящей работы внедрены при замене перекрытий в жилом доме и реконструкции трехпролетного Рогатинского моста через р. Лопань в г. Харькове.

Длина среднего пролета моста 15,6 м, крайние пролеты имели длину по 13,1 м каждый. Толщина железобетонной плиты составляла 170 мм.

Усиление каждой балки производилось локальным обжатием в пролетах путем оттягивания приваренных к ней 6 стержней  $d = 32$  мм. Оттягивание производилось двумя винтовыми домкратами. Суммарное усилие натяжения 110 тонн.

Внедрение результатов настоящей работы подтвердило эффективность и технологичность локального обжатия многопролетных сталежелезобетонных балок.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонная неразрезная балка, локальное предварительное напряжение, предельное равновесие, несущая способность, трещиностойкость, история нагружения.

## ABSTRACT

**Shemet R.N. Steelferroconcrete continuous locally prestressed beams. Manuscript.**

The thesis for getting the candidate degree of engineering sciences in speciality 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. – Ukrainian State Academy of Railway Transport Kharkov, 2007.

The thesis is devoted to the continuous multispan steelferroconcrete high efficiency of which is achieved by pusing in the areas of the greatest bending moments, by squeezing only on the supports, only in the spans, on the supports and in the spans simultaneously.

The conducted experimental researches of the continuous stulferroconcrete beams showed that local squeezing increases their bearing capacity on 25...30%/ The proposed antidisplced anchors ensured the joint work of the ferroconcrete shelf of the steel beam.

The engineering calculation method of the bearing capacity of the continuous stulferroconcrete locally pusted beams accounting physical, geometric non-linearity and history of loading was developed. The combination of the limited equilibrium method and nonlinear calculation deformation model is the basis of this method.

The results of this work are implemented into reconstruction of the three-span Rogatinsky bridge and changing the floor in a dwelling house in the city Kharkov.

**Keywords: stulferroconcrete continuous beam, local pustressing, limited equilibrium, bearing capacity, crackresistance, history of loading.**

Подписано к печати 5.03.2007 г. Формат 60x90 1/16

Бумага для лазерных принтеров.

Усл.-печ. л. 0,9.

Заказ № . Тираж 100 экз. Бесплатно.

---

Ризограф ХГТУСА,

61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40, тел.7-000-240