

**УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

ИЗБАШ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ

УДК 624.012.46 + 624.014.2

**ЛОКАЛЬНО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ
СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
ДЛЯ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ**

Специальность 05.23.01 - строительные конструкции,
здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Харьков – 2008

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сталежелезобетонные конструкции широко применяются в зарубежной и отечественной строительной практике в перекрытиях и покрытиях, пролетных строениях мостов и др.

Являясь в основном сборно-монолитными, они достаточно технологичны, что предопределило их востребованность как в новом строительстве, так и в реконструкции, когда работы ведутся внутри помещений, в стесненных условиях. Однако при пролетах увеличенной длины требуется использование в сталежелезобетонных перекрытиях стальных балок достаточно больших высот сечений.

Уменьшение высоты сечений, снижение металлоемкости при обеспечении требуемой жесткости конструкций обычно достигается их предварительным напряжением. Однако предварительному напряжению сталежелезобетонных элементов и статически неопределимых систем до настоящего времени должное внимание не уделялось.

Изложенное позволяет сделать вывод об актуальности разработки, исследования и внедрения предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов и систем на их основе.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертация выполнена в рамках тематического плана МОН Украины, тема: «Локальное предварительное напряжение сталежелезобетонных и железобетонных конструкций» (номер государственной регистрации 0106U012651); плана ХГТУСА, тема: «Разработка и исследование эффективных предварительно напряженных сталежелезобетонных перекрытий».

Цель работы – создание и внедрение сталежелезобетонных изгибаемых элементов и статически неопределимых систем с локальным и технологическим предварительным напряжением, обеспечивающим снижение металлоемкости, перекрытие пролетов увеличенной длины; разработка методики их расчета.

Задачи настоящего исследования:

- предложить сталежелезобетонные изгибаемые элементы с локальным обжатием, совместным локальным и технологическим предварительным напряжением, разработать методику их расчета с учетом физической, геометрической и технологической нелинейности;
- разработать методику расчета натяжения арматуры сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок с прямолинейным и криволинейным нижним поясом;
- экспериментально исследовать закономерности работы локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов, оценить влияние локального обжатия на их несущую способность и жесткость;
- предложить эффективные противосдвиговые анкера, которые могут изготавливаться непосредственно строительными организациями Украины, разработать соответствующую методику их расчета;
- исследовать напряженно-деформированное состояние предложенного узла крепления напрягаемой внешней арматуры к стальной балке, обеспечивающего значительное снижение величин напряжений в зоне крепления, экспериментально подтвердить указанное;
- обосновать возможность упрочнения арматуры класса А500С непосредственно в конструкции и разработать соответствующий аппарат расчета;
- экспериментально исследовать влияние уровня локального предварительного напряжения на работу сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне;
- предложить и исследовать неразрезные сталежелезобетонные балки с локальным обжатием на опорах, в пролетах, одновременно на опорах и в пролетах, разработать методики расчета их несущей способности с учетом направленного формирования перераспределения усилий; экспериментально исследовать закономерности деформирования и разрушения указанных неразрезных сталежелезобетонных балок;
- разработать инженерную методику расчета и рационального

формирования опертых по контуру сталежелезобетонных локально предварительно напряженных плит;

- экспериментально оценить возможность усиления сталежелезобетонных конструкций под нагрузкой, разработать методику расчета усиления эксплуатируемых сталежелезобетонных однопролетных и неразрезных балок;

- внедрить результаты настоящей работы.

Объектом исследования являются сталежелезобетонные изгибаемые элементы с локальным и технологическим предварительным напряжением и статически неопределимые системы на их основе.

Предмет исследования – степень повышения эффективности сталежелезобетонных изгибаемых элементов и статически неопределимых систем их локальным и технологическим предварительным напряжением внешней арматурой повышенной прочности.

Методы исследования представляют собой сочетание экспериментальных и теоретических:

- экспериментальное установление характера деформирования и разрушения разработанных сталежелезобетонных локально предварительно напряженных конструкций и их элементов;

- разработка методик расчета предложенных конструкций с учетом физической, геометрической и технологической нелинейности.

Научную новизну результатов диссертационной работы составляют:

- экспериментально и теоретически обоснованное предложенное локальное предварительное напряжение внешней арматурой повышенной прочности класса А500С сталежелезобетонных изгибаемых элементов, снижающее их металлоемкость;

- сочетание локального и технологического предварительного напряжения, существенно повышающее эффект обжатия;

- выявленные в экспериментах закономерности работы и разрушения локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов, степень влияния уровня локального обжатия на их несущую

способность, трещиностойкость железобетонной полки;

- разработанный аппарат расчета по первой и второй группам предельных состояний сталежелезобетонных изгибаемых локально и технологически предварительно напряженных элементов с учетом физической, геометрической и технологической нелинейности;

- предложенный путь уменьшения напряжений в зоне крепления напрягаемой арматуры к стальной балке, экспериментальное подтверждение его эффективности;

- методика деформационного упрочнения арматуры А500С непосредственно в конструкции, расчетный аппарат реализации;

- результаты экспериментальных исследований влияния локального предварительного обжатия сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне на их несущую способность и трещиностойкость, открывшие возможность рационального формирования статически неопределимых локально предварительно напряженных стержневых сталежелезобетонных систем;

- методика рационального формирования сталежелезобетонных локально предварительно напряженных неразрезных балок с помощью обжатия на опорах, на опорах и в пролетах, результаты их экспериментальных исследований; методика расчета с учетом направленного формирования перераспределения усилий на основе образования ограниченных шарниров пластичности;

- методика расчета и формирования локально предварительно напряженных опертых по контуру сталежелезобетонных плит;

- экспериментальное обоснование возможности усиления эксплуатируемых сталежелезобетонных конструкций под нагрузкой, разработанная методика расчета усиления.

Практическое значение работы состоит в том, что разработанные методики формирования конструкций и их расчета обеспечивают возможность создания эффективных сталежелезобетонных изгибаемых элементов и статически неопределимых систем, позволяющих перекрывать пролеты увеличенной длины

при уменьшенных высотах сечений стальных балок, сниженных металлоемкости и энергозатратности, возведения перекрытий, являющихся сборно-монолитными конструкциями, без использования крупногабаритных грузоподъемных механизмов, внутри помещений; усиления эксплуатируемых сталежелезобетонных конструкций под нагрузкой.

Результаты исследования внедрены при реконструкции в г. Харькове трехпролетного Рогатинского моста; зданий по ул. Сумской, 6; ул. Крымской, 5, ул. Артема, 48-б, Украинской мобильной связи по ул. Фрунзе, 18; Фармацевтического университета по ул. Пушкинской, 27; по ул. Шевченко, 60 и др.

Личный вклад диссертанта:

- предложен эффективный класс сталежелезобетонных конструкций, теоретически обосновано повышение несущей способности, жесткости сталежелезобетонных изгибаемых элементов и статически неопределимых систем локальным предварительным напряжением стержневой внешней арматурой повышенной прочности класса А500С;

- проведены экспериментальные исследования сталежелезобетонных локально предварительно напряженных элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне;

- разработана методика расчета сталежелезобетонных изгибаемых элементов, а также неразрезных балок с обжатием на опорах, на опорах и в пролетах; проведены экспериментальные исследования однопролетных и неразрезных сталежелезобетонных балок с локальным обжатием;

- сопоставлены результаты выполненных по разработанным методикам расчетов с данными, полученными в проведенных экспериментальных исследованиях;

- предложены принципы создания и разработана методика расчета сталежелезобетонных изгибаемых элементов с совместным локальным и технологическим предварительным напряжением;

- предложено направленное формирование перераспределения усилий в статически неопределимых системах с помощью локального предварительного

напряжения;

- проведены экспериментальные исследования конструкций поддерживающих стоек для осуществления технологического предварительного напряжения;

- предложены эффективные конструкции противосдвиговых анкеров и методика их расчета;

- экспериментально подтвержден предложенный принцип снижения напряжений в арматуре в зоне ее крепления к стальной балке;

- предложен инженерный подход к расчету опертых по контуру сталежелезобетонных плит и их направленному формированию;

- экспериментально и теоретически доказана возможность усиления однопролетных и неразрезных сталежелезобетонных балок под нагрузкой с помощью локального обжатия;

- участие во внедрении результатов работы.

Апробация работы. Основные положения диссертации, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных разработок, внедрения докладывались на 58-й (2003 г.), 59-й (2004 г.), 60-й (2005 г.), 61-й (2006 г.), 62-й (2007 г.), 63-й (2008 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.), «Научно-технические проблемы современного железобетона» (Львов, 2003 г.), 1-й Международной научной конференции «Ресурс и безопасность эксплуатации конструкций, зданий и сооружений» (Харьков, 2003 г.), 2-й Международной научной конференции «Ресурс и безопасность эксплуатации конструкций, зданий и сооружений» (Харьков, 2005 г.), семинаре «Методы повышения ресурса городских инженерных инфраструктур» (Харьков, 2006 г.), 3-й Международной научной конференции «Ресурс и безопасность эксплуатации конструкций, зданий и сооружений» (Харьков, 2007 г.), 70-й Международной научно-технической конференции «Проблемы надежности и

долговечности инженерных зданий и сооружений» (Харьков, УкрДАЗТ, 2008 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликована 41 работа, из них 39 в изданиях, рекомендованных ВАК Украины, 2 Декларационных патента Украины.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, восьми разделов, выводов, списка использованных литературных источников из 260 наименований. Общий объем работы составляет 282 страницы основного машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложена общая характеристика диссертации.

Первый раздел посвящен анализу исследований сталежелезобетонных конструкций, существующих методик их расчета, способов предварительного напряжения железобетонных и стальных несущих элементов.

Большой вклад в практику применения и развитие теории расчета сталежелезобетонных конструкций внесли Беленя Е.И., Гибшман Е.Е., Стрелецкий Н.Н., Стороженко Л.И. и др.

К сталежелезобетонным часто относят конструкции с различного вида внешним армированием. Сталежелезобетонные конструкции без внутренней арматуры классифицируются как сталебетонные, трубобетонные. Они нашли широкое применение в строительстве. Их исследованию посвящены работы Аметова Ю.Г., Ефименко В.И., Клименко Ф.Е., Панарина Н.Я., Санжаровского Р.С., Семко А.В., Чихладзе Э.Д. и др.

Особенно широкое применение в зарубежном и отечественном строительстве и реконструкции нашло внешнее листовое армирование с использованием профилированного стального настила. Конструкциям, работающим в агрессивных средах, посвящены исследования Пустовойтова В.П., Савицкого Н.В., Чернявского В.Л., Шагина А.Л.; предложено внешнее стеклопластиковое, углепластиковое армирование.

Строгая методика расчета сталежелезобетонных конструкций основывается на нелинейной теории железобетона, созданию и развитию которой посвящены

работы Бабича Е.М., Бамбуры А.Н., Барашикова А.Я., Бондаренко В.М., Гвоздева А.А., Гольшева А.Б., Гуци Ю.П., Климова Ю.А., Клованича С.Ф. и др.

Важную роль в повышении эффективности железобетонных и металлических конструкций играет их предварительное напряжение. Указанное убедительно обосновано исследованиями Белени Е.И., Бердичевского Г.И., Буракаса А.И., Васильева А.П., Гнидца Б.Г., Гийона И., Дмитриева С.А., Леонгардта Ф., Михайлова В.В., Стрелецкого Н.Н. и др. Клименко Ф.Е. разработаны предварительно напряженные сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием, с рифленой полосовой арматурой.

Шагиным А.Л. предложен способ локального предварительного напряжения монолитных, сборно-монолитных, неразрезных железобетонных конструкций, обеспечивающий возможность снижения энергетических и финансовых ресурсов.

На основании выполненного анализа исследований сформулированы задачи настоящей работы.

Во втором разделе рассматриваются разработанные локально предварительно напряженные сталежелезобетонные изгибаемые элементы, предложения по повышению их эффективности, расширению возможностей.

Предварительному обжатию изгибаемый элемент подвергается не по всей его длине, а локально - только в зоне действия максимальных изгибающих моментов (рис. 1). Оно осуществляется внешними стержнями из свариваемой арматуры повышенной прочности, например, стали класса А500С.

Так как прочность арматуры выше, чем у стали двутавра, представляется возможным снижение металлоемкости, собственной массы стальной балки сталежелезобетонной конструкции. Более эффективно обжатие осуществлять до бетонирования железобетонной полки.

Перед осуществлением обжатия к стенке стальной балки с двух ее сторон привариваются два арматурных стержня.

Участок между точками закрепления l_{sp} является подвергающимся предварительному напряжению.

Затем оба стержня одновременно оттягиваются с помощью специального ручного винтового двухветвевого домкрата, т.е. без затраты электроэнергии.

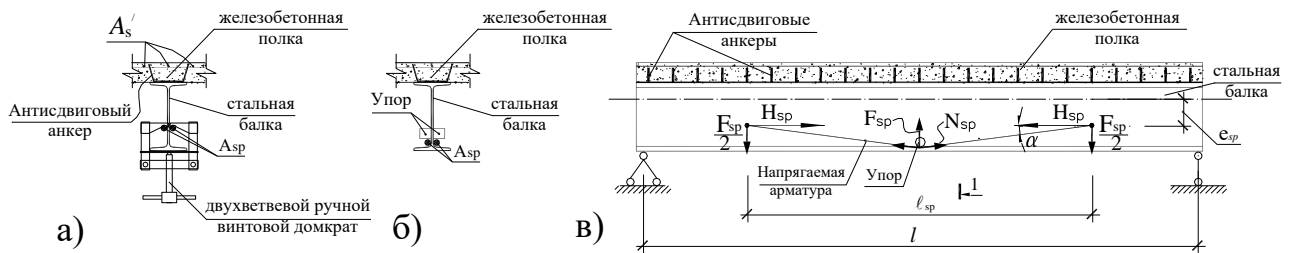


Рис.1. Локальное обжатие сталежелезобетонной балки
 а) оттягивание арматуры; б) фиксация положения упором;
 в) усилия обжатия

Выворачиваемый по резьбе винт домкрата упирается в полку двутавра, вследствие чего оттягиваются одновременно оба напрягаемых стержня (рис. 1, а). Затем привариваются упоры (рис. 1, б). Схема действия усилий обжатия после удаления домкрата показана на рис. 1, в.

Положение оттянутых стержней фиксируется упорами в виде отрезков труб, привариваемых с двух сторон стенки балки (рис. 2).



Рис.2. Локальное предварительное напряжение стальной балки до монтажа непосредственно на объекте (в перевернутом положении)

Некоторые сложности возникают, когда арматурные стержни необходимо пропустить через ребра жесткости. В данном случае в ребрах предусматриваются прорези (рис. 3).

Следует отметить, что локальное предварительное напряжение повышает не только несущую способность, но и жесткость конструкции.

Для создания натяжения арматуры N_{sp} необходимо приложить силу оттягивания

$$F_{sp} = N_{sp} \sqrt{\frac{8N_{sp}}{E_{sp} A_{sp}}}, \quad (1)$$

где E_{sp} и A_{sp} – соответственно модуль деформации и суммарная площадь поперечного сечения стержней напрягаемой арматуры.



Рис. 3. Пропуск арматуры через прорезь в ребре жесткости балки

В случае использования арматуры класса А500С имеет место соотношение $F_{sp} \approx 0,13N_{sp}$, что и позволяет производить оттягивание ручным винтовым домкратом.

Стрелка оттягивания определяется по зависимости

$$f_{sp} = l_{sp} \sqrt{0,5\varepsilon_{sp}},$$

где ε_{sp} – деформация напрягаемой арматуры в результате оттягивания.

На участке длиной l_{sp} возникают продольная сила обжатия

$$H_{sp} = N_{sp} \cos \alpha \quad (2)$$

и выгибающий балку момент

$$M_{sp} = \frac{N_{sp} l_{sp} \sin \alpha}{2} + N_{sp} \cdot e_{sp} \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

где α - угол оттягивания арматуры,

e_{sp} – расстояние точек крепления до физической оси элемента.

Повышенная технологичность обеспечивается возможностью осуществления локального предварительного напряжения до монтажа, внизу, с надежным контролем создаваемого натяжения напрягаемой арматуры. Одновременно к верхней полке стальной балки привариваются противосдвиговые анкера. Работы могут производиться и вне строительной площадки, на монтаж поступает уже готовая локально обжатая стальная балка. Стальные элементы

должны быть защищены от воздействий огня и коррозии.

Для обеспечения совместной работы железобетонной плиты и стальной балки предложены противосдвиговые анкера, эффективность которых повышается за счет использования работы бетона на смятие.

Расстановка по длине конструкции и диаметры арматуры анкеров определяются расчетом по разработанной методике.

Практическая значимость предлагаемых анкеров состоит в том, что они могут изготавливаться из отрезков арматуры А300С и др. с осуществлением гнутья на механических участках либо непосредственно на стройплощадках.

Предложена конструкция узла крепления арматурных стержней к стенке балки, новизна которой защищена патентом Украины 59242А. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили его эффективность. Разработана методика расчета.

Предложена методика расчетной оценки потерь напряжений в напрягаемой арматуре от обжатия стальной балки, ползучести и усадки бетона. Благодаря шпренгельной схеме работы арматуры потери напряжений меньше, чем при прямолинейном очертании напрягаемой арматуры. Потери от релаксации напряжений определяются как для стержневой арматуры железобетонного обжатого механическим способом элемента.

Разработана методика определения параметров локального обжатия сталежелезобетонных балок с нижним поясом криволинейного очертания, которые встречаются в практике (рис.4).



Рис.4. Цилиндрический упор, фиксирующий оттянутое положение напрягаемой арматуры при обжатии сталежелезобетонной балки с нижним поясом криволинейного очертания

Получено уравнение, связывающее необходимую величину стрелки оттягивания f_{sp} при начальной стрелке нижнего пояса балки f_0 с значением требуемого усилия натяжения арматуры N_{sp} для случая оттягивания силой F_{sp} , приложенной в середине длины участка обжатия l_{sp} .

Оно позволяет при заданных значениях f_0 , l_{sp} , E_{sp} , A_{sp} определять величину стрелки оттягивания f_{sp} , необходимой для создания усилия натяжения N_{sp} .

Величина силы оттягивания F_{sp} , приложенной в середине длины напрягаемой арматуры и необходимой для создания усилия натяжения N_{sp} , определяется по зависимости

$$F_{sp} = 2N_{sp} \frac{f_0 + f_{sp}}{\sqrt{(f_{sp} + f_0)^2 + \frac{l_{sp}^2}{4}}}, \quad (4)$$

отсчет f_0 и f_{sp} от линии, соединяющей точки крепления арматуры.

Упрочнение напрягаемой арматуры А500С вытяжкой предложено как технологически простой путь уменьшения ее расхода в локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементах.

При этом предлагается осуществлять упрочнение арматуры класса А500С ее вытяжкой непосредственно в конструкции до контролируемого удлинения 3%.

Первый этап - достижение заданной величины стрелки оттягивания f_{sp1} (рис. 5), при которой значение напряжения в арматуре превышает величину предела текучести; второй этап – разгрузка, третий – заданное локальное предварительное напряжение.

Ввиду того, что после разгрузки длина арматуры увеличивается по сравнению с первоначальной, возникает провис с величиной стрелки

$$f_{sp2} = l_{sp} \sqrt{\frac{\varepsilon_{spo}}{2}}, \quad (5)$$

Для создания задаваемого предварительного напряжения σ_{sp3} необходима

стрелка оттягивания

$$f_{sp3} = l_{sp} \sqrt{\frac{\varepsilon_{sp0} + \varepsilon_{sp3}}{2}}, \quad (6)$$

где ε_{sp0} и ε_{sp3} – соответственно деформации разгрузки и локального обжатия.

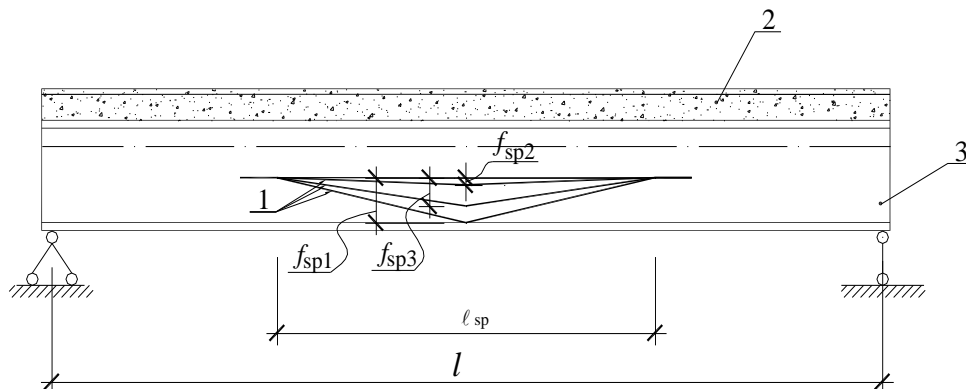


Рис. 5. Упрочнение напрягаемой внешней арматуры непосредственно в конструкции:

f_{sp1} – максимальное оттягивание, f_{sp2} – после разгрузки, f_{sp3} – в результате задаваемого локального предварительного напряжения

Отсчет величины стрелок оттягивания ведется от прямой, соединяющей точки крепления напрягаемой арматуры к стенке балки.

В разделе 3 представлены результаты проведенных экспериментальных исследований, цель которых состояла в установлении характера деформирования и разрушения локально предварительно напряженных однопролетных сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в сжатой зоне, с полкой в растянутой зоне, оценке потерь напряжений в арматуре, а также эффективности предложенного решения узла крепления напрягаемой арматуры к сталежелезобетонной балке, защищенного патентом Украины 59242А. Приведена разработанная методика расчета арматуры в зоне ее крепления к стенке балки.

Так как эксперименты носили сопоставительный характер, испытывались 4 типа сталежелезобетонных балок. Первый тип Б-1 без предварительного напряжения. Остальные балки были с локальным предварительным обжатием: БН-1 с начальным напряжением в арматурных стержнях $\sigma_{sp1} = 230$ МПа; БН-2 с $\sigma_{sp2} = 330$ МПа; БН-3 с $\sigma_{sp3} = 400$ МПа. Указанное позволяло установить степень влияния уровня предварительного напряжения на работу испытанных балок.

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

Длина каждой балки составляла $l = 2500$ мм.

В качестве напрягающих стержней была применена арматура $\varnothing 16$ мм класса А500С. Концы стержней приваривались к стенкам двутавра с двух сторон.

Балки БН-1 и БН-2 одновременно предназначались для экспериментального установления величины потерь напряжений в арматуре после осуществления с ее помощью локального обжатия.

Установлено, что потери напряжений в арматуре от ползучести и усадки бетона малы. Величины напряжений в стержнях приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сопоставление расчетных и экспериментально полученных значений напряжений в арматуре при ее оттягивании

Марка образца	Стрелка оттягивания f_{sp} , мм	Напряжение в арматуре		Отклонение
		$\sigma_{sp}^э$, МПа (эксперимент)	$\sigma_{sp}^р$, МПа (расчет)	$\frac{\sigma_{sp}^э - \sigma_{sp}^р}{\sigma_{sp}^э} \cdot 100\%$
БН-1	33	230	211	8,26
БН-2	41	330	326	1,2
БН-3	46	400	410	-2,5

Образцы испытывались с использованием специального стенда по схеме однопролетной шарнирно опертой по концам балки, загруженной в середине длины пролета сосредоточенной вертикальной нагрузкой. Нагружение велось этапами до образования лещадки (рис.6) в сжатой железобетонной полке.

Величина разрушающей нагрузки у сталежелезобетонной балки без предварительного обжатия составила $F_{u0} = 75$ кН, у локально предварительно напряженных балок БН-1 соответственно $F_{u1} = 97$ кН, у БН-2 составила $F_{u2} = 101$ кН, у БН-3 соответственно $F_{u3} = 110$ кН.



Рис.6. Характер разрушения и трещинообразования в железобетонной полке

Указанное обусловлено характером процесса исчерпания несущей способности. Он начинается с текучести в арматурных стержнях. Поэтому, чем выше уровень натяжения, тем меньше остающийся ресурс напрягаемой арматуры – раньше наступает текучесть, стержни выключаются из работы, конструкция трансформируется в сталежелезобетонную балку без шпренгеля и начинается лавинообразный процесс: текучесть в стальном двутавре и разрушение сжатой железобетонной полки с образованием лещадок (рис. 6).

Таким образом, необходимо расчетом, последовательными приближениями подбирать рациональный уровень натяжения арматуры.

Нагрузка трещинообразования в железобетонной полке у образца БН-3 выше на 60%, чем у Б-1. Предварительное напряжение уменьшает деформативность балок (рис. 7), однако после достижения текучести в напрягаемой арматуре рост прогибов значительно опережает рост нагрузки.

В испытаниях было установлено, что разработанная конструкция узла крепления арматуры (патент Украины 59292А) практически исключает концентрацию напряжений арматуры в данной зоне.

Согласно программе исследований испытывались три типа балок с

Таким образом, благодаря локальному обжатию внешней арматурой $2\varnothing 16$ мм класса А500С несущая способность балки БН-3 в 1,47 раза выше, чем балки без обжатия.

Как видно из приведенных результатов, относительный рост несущей способности балок меньше роста уровня предварительного напряжения арматуры.

железобетонной полкой в растянутой зоне. Первый тип представляла сталежелезобетонная балка БР-1 без предварительного напряжения.

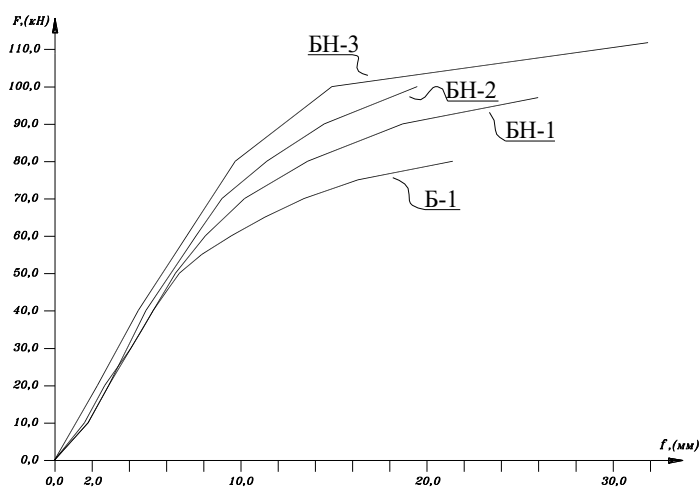


Рис. 7 Рост прогибов балок в середине длин пролётов под нагрузкой

Остальные типы балок были с локальным предварительным напряжением различного уровня и соответственно стрелками оттягивания различной величины: у балки БНР-1 напряжения в арматурных стержнях составили $\sigma_{sp1} = 70$ МПа при стрелке оттягивания, составлявшей $f_{sp1} = 20$ мм,

у балки БНР-2 соответственно $\sigma_{sp2} = 210$ МПа и $f_{sp2} = 40$ мм.

Каждая сталежелезобетонная балка длиной $l = 2500$ мм состояла из стального двутавра № 16 и железобетонной полки высотой сечения 60 мм, шириной 250 мм. Полка армировалась продольными стержнями $3\varnothing 5$ мм класса Вр-I. Перпендикулярно указанным продольным стержням привязывались поперечные стержни $\varnothing 5$ мм класса Вр-I, шаг 150 мм. Локальное предварительное напряжение (рис.8) создавалось двумя стержнями $\varnothing 16$ мм класса А500С.



Рис. 8. Осуществление локального предварительного напряжения будущей растянутой стальной части балки БНР-2

По достижении заданной величины напряжения в арматуре в середине длины балки между арматурой и полкой двутавра устанавливался стальной цилиндрический упор, после чего домкрат удалялся.

После набора бетоном прочности последовательно проводились испытания балок БР-1, БНР-1 и БНР-2 (рис. 9).



Рис.9. Общий вид испытания локально предварительно напряженной сталежелезобетонной балки с железобетонной полкой в растянутой зоне

Величина разрушающей нагрузки для сталежелезобетонной балки без предварительного обжатия составила $F_{u0} = 70$ кН, для локально предварительно напряженных балок БНР-1 соответственно $F_{u1} = 90$ кН, для БНР-2 зафиксирована $F_{u2} = 95$ кН.

Таким образом, при локальном обжатии арматурой $2\varnothing 16$ мм класса А500С с стрелкой оттягивания $f_{sp} = 40$ мм несущая способность сталежелезобетонного изгибаемого элемента с железобетонной полкой в растянутой зоне была повышена на 36%.

Величина нагрузки трещинообразования сталежелезобетонной балки без предварительного напряжения составила $F_{cr1} = 8$ кН, у локально предварительно напряженных балок БНР-1 и БНР-2 соответственно $F_{cr2}=10$ кН, и $F_{cr3}=16$ кН.

Предварительное напряжение отодвигает момент наступления текучести в двутавре. Локально предварительно напряженный изгибаемый элемент представляет собой систему с шпренгельным подкреплением. Чем больше действующая нагрузка, тем больше возникающий при этом распор. За счет данного эффекта дополнительного обжатия полки двутавра и передачи через противосдвиговые анкера усилия на бетон повышается трещиностойкость железобетонной полки, находящейся в растянутой зоне.

Таким образом, локальное предварительное напряжение является инструментом увеличения прочности конструкции и повышения трещиностойкости расположенной в растянутой зоне железобетонной полки. Полученные результаты являются важными для разработки, например, локально обжатых неразрезных сталежелезобетонных балок, в зонах промежуточных опор которых действуют отрицательные изгибающие моменты.

Раздел 4 посвящен разработанной методике расчета локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов.

Методика учитывает последовательность: осуществление локального обжатия, устройство железобетонной плиты, изменение состава сечения конструкции после набора бетоном заданной прочности, нагружение, разрушение.

Считается, что в растянутой зоне железобетонной полки могут быть трещины, однако вклад растянутого бетона с трещинами в работе сталежелезобетонного изгибаемого элемента не учитывается.

В предлагаемой конструкции вследствие статической неопределимости при действии нагрузки имеет место перераспределение усилий между

сталежелезобетонной балкой и напрягаемой арматурой; в сечениях происходит перераспределение усилий между железобетонной полкой и стальной балкой, в самой плите - перераспределение напряжений между бетоном и ее арматурой.

Учет геометрической нелинейности диктуется изменением под нагрузкой конфигурации шпренгельного подкрепления из напрягаемой арматуры и расположения физической оси сечения.

Разработанная методика расчета включает:

- оценку усилий в стальной балке и ее выгиба y_1 при локальном обжатии;
- определение напряжений в стальной балке и прогиба y_2 от веса свежеуложенного бетона плиты и самой балки;
- проверку сформировавшейся конструкции по второй группе предельных состояний;
- оценку несущей способности.

Ввиду сравнительно небольшой величины возникающих в стальной балке напряжений расчет для первой и второй стадий выполняется в линейной постановке.

При действии нормативной нагрузки величина напряжения находится на восходящей ветви диаграммы « $\sigma_\epsilon - \epsilon_\epsilon$ ». В третью стадию набравший прочность бетон входит с напряжением $\sigma_\epsilon = 0$.

Условие удовлетворения требованиям второй группы предельных состояний

$$y_1 + y_2 + y_3 \leq y_n \quad (7)$$

где y_3 – прогиб конструкции от действия нормативной нагрузки;

y_n – значение предельного прогиба, регламентируемое нормами.

Получены зависимости для подсчета y_1 и y_2 .

Определение y_3 производится в нелинейной постановке, используется величина приведенной жесткости сталежелезобетонного сечения. По высоте железобетонная полка разбивается на полоски, каждой из которых соответствует свое значение секущего модуля деформации, определяемое величиной напряжения в полоске. Расчет ведется методом последовательных приближений,

в которых уточняются значения модулей деформаций бетона, положение физической оси и конфигурация шпренгельного подкрепления.

Арматура, сталь двутавра на данной стадии деформируются упруго.

Так как величина напряжения в бетоне сравнительно небольшая, процесс итераций достаточно быстро сходится.

Выявленная в экспериментах практически одновременность разрушения бетона полки и достижения текучести в арматурах и в стальной балке позволяет определять несущую способность конструкции методом предельного равновесия в форме статического способа. Данный метод обычно применяется, когда состав сечения и схема нагружения конструкции от его начала до разрушения не изменяется. В настоящей работе предлагается методика, учитывающая изменения в доэксплуатационной стадии вида нагружения (локальное предварительное напряжение, воздействие веса свежееуложенного бетона полки) и состава сечения (стальное, сталежелезобетонное).

Для полностью сформировавшегося сталежелезобетонного локально обжатого изгибаемого элемента определяется величина разрушающей только переменной нагрузки q_u , исходя из того, что напряжения в бетоне полки изменятся от $\sigma_b = 0$ до $\sigma_{bu} = R_b$, в арматуре плиты от $\sigma_s = 0$ до $R_s = R_{sc}$, в стальном двутавре от $\sigma_c = \sigma_{c0}$ (напряжение непосредственно перед приложением переменной нагрузки) до $\sigma_c = R_{cu}$, в напрягаемой арматуре от $\sigma_{sp} = \sigma_{sp0}$ (перед нагружением) до $\sigma_{sp} = R_{sp}$. Таким образом, при определении разрушающей переменной нагрузки учитывается только остаточный деформативно-прочностной ресурс компонентов конструкции. Суммарная разрушающая нагрузка состоит из предэксплуатационной и разрушающей переменной q_u .

Раздел 5 посвящен сталежелезобетонным изгибаемым элементам с локальным и технологическим обжатием. Известное технологическое формирование усилий достигается подведением под стальную балку перед бетонированием плиты временной стойки. В этом случае восприятие нагрузки от веса свежееуложенного бетона происходит по схеме двухпролетной неразрезной

балки, в середине которой (на опоре) возникает максимальный отрицательный изгибающий момент M_{max} и реакция R на опоре (поддерживающей стойке).

Проведенный с использованием полученных в работе зависимостей анализ показал, что в случае установки временной стойки под упором шпренгельного подкрепления в напрягаемых стержнях усилия весьма малы, т.е. на данной стадии шпренгель практически не работает, и усилия определяются как для стальной двухпролетной балки.

Указанное выключение стержней из работы на стадии восприятия нагрузки от собственного веса свежееуложенного бетона и стальной балки отодвигает момент достижения текучести в напрягаемой арматуре, т.е. фактически увеличивает ее ресурс, что эквивалентно увеличению несущей способности конструкции в целом.

После набора бетоном плиты заданной прочности и удаления стойки конструкция начинает работать как сталежелезобетонная с локальным и технологическим предварительным напряжением.

Технологическое обжатие возникает ввиду того, что физическая ось сечения, трансформирующегося в сталежелезобетонное, перемещается вверх (к железобетонной плите), возрастает величина эксцентриситета приложения усилия обжатия H_{sp} и соответственно под нагрузкой возникает дополнительный момент выгиба

$$\Delta M = H_{sp} (e_{sp1} - e_{spo}) \quad (8)$$

где e_{spo} – расстояние линии действия усилия локального обжатия до оси стальной балки,
 e_{sp1} – расстояние усилия обжатия до физической оси сталежелезобетонного сечения.

При дальнейшем нагружении эффект возрастает. В появлении дополнительного момента выгиба основная сущность технологического обжатия.

Проведенными экспериментами подтверждена возможность использования при бетонировании перекрытий в качестве временных опор трубчатых двухзвеньевых выдвижных стоек высотой $H = 3$ м и $H = 3,5$ м.

Разработаны методики расчета для каждой стадии работы сталежелезобетонной конструкции с локальным и технологическим обжатием.

Для стадии 1 (локальное обжатие) и стадии 2 (нагружение стальной балки весом свежееуложенного бетона и собственным весом) расчет ведется в упругой постановке.

Для стадии 3 (после удаления поддерживающей стойки) рассматривается сталежелезобетонная балка, загруженная собственным весом. Ввиду сравнительно небольшой величины нагрузки и включения в работу сформировавшейся железобетонной полки расчет представляется возможным также вести в упругой постановке. Учет изменения состава сечения можно считать учетом технологической нелинейности.

Для стадии 4 (восприятие переменной нагрузки) расчет ведется в физически и геометрически нелинейной постановке с использованием метода последовательных приближений.

Для стадии 5 (исчерпание несущей способности) величина разрушающей переменной нагрузки определяется методом предельного равновесия с учетом оставшегося после завершения стадии 3 деформативно-прочностного ресурса компонентов конструкции. Состав сечения конструкции на стадии 4 и стадии 5 остается неизменным.

Раздел 6 посвящен экспериментальной оценке предложенных неразрезных сталежелезобетонных балок с локальным обжатием в зонах промежуточных опор и в пролетах, изучению их работы под нагрузкой, а также разработанной методике 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.10).

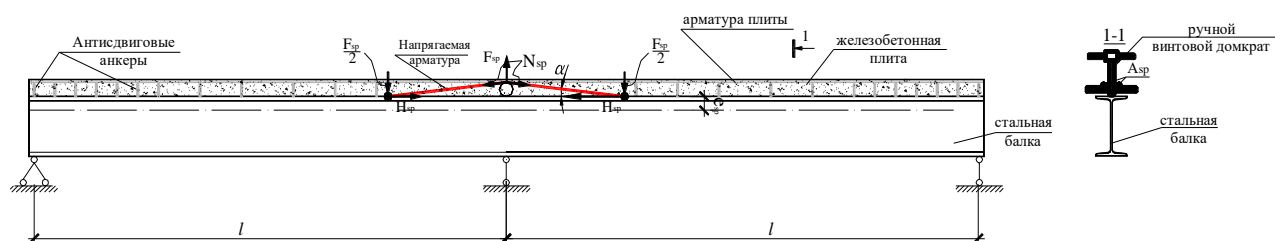


Рис. 10. Сталежелезобетонная неразрезная балка с локальным обжатием только на опоре

Испытания проводились с использованием стенда (рис.11), закрепленного к силовому полу.



Рис.11. Общий вид испытания

Данные таблицы 2 показывают эффект локального обжатия.

Таблица 2

Результаты испытаний балок

Марка образца	Схема обжатия	Разрушающая нагрузка F_u , кН	Нагрузка трещинообразования F_{crc} , 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. 12.

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.

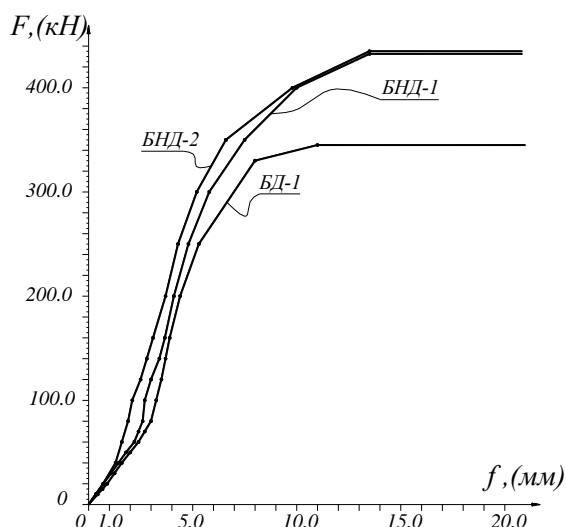


Рис.12. Рост прогибов в середине пролетов балок под нагрузкой

обладающих меньшей жесткостью, в пролетные сечения, имеющие соответственно бóльшие жесткости.

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

Физическая нелинейность, образование трещин в железобетонных полках, выключение указанных полок из работы на опорах неразрезных многопролетных сталежелезобетонных балок, пластические деформации арматуры стальных двутавров обуславливают перераспределение усилий с опорных сечений,

пролетах.

Изложенное диктует необходимость рационального усиления опорных зон. Усиление опорных зон предлагается осуществлять локальным предварительным напряжением стальной балки на промежуточных опорах (рис.13).

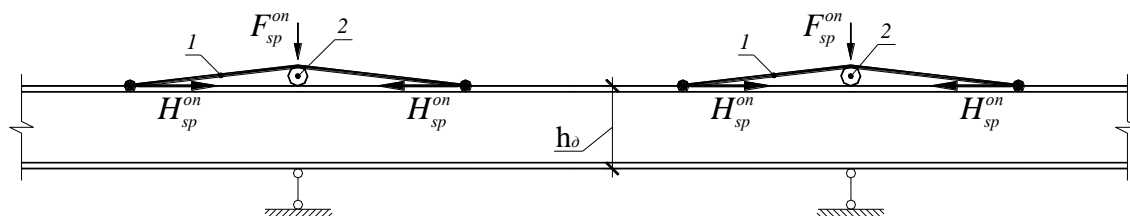


Рис. 13. Локально обжатая на промежуточных опорах неразрезная стальная балка
1 – напрягаемые арматурные стержни, 2 – упор,
3 – стальная двутавровая балка

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 назначением величины опорного момента M_{oni} равным значению M_{ni} будет определять 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_{spu}^{on} , обратный по знаку опорному моменту M_{oni} .

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_{ni} с полкой в сжатой зоне.

Принимается, что образование пластических шарниров в надопорных участках происходит при

$$M_{oni} = M_{ni} - M_{sp}^{on}. \quad (9)$$

В целях обеспечения эксплуатационной пригодности конструкций должно выполняться условие ограничения пластических деформаций в виде ограниченного шарнира пластичности. При этом величины M_{spu}^{on} и обжатия H_{spu}^{on} 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,

$$q_u = \frac{8}{l^2} (2M_{ni} - M_{spu}^{on}). \quad (10)$$

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

$$M_{\max} = 0,069q_u l^2, \quad (11)$$

условие равновесия

$$M_{nu} = 0,069q_u l^2 - 0,414(M_{nu} - M_{spu}^{on}), \quad (12)$$

откуда величина разрушающей нагрузки

$$q_u = \frac{1}{0,069l^2} (1,414M_{nu} - 0,414M_{spu}^{on}). \quad (13)$$

Таким образом, в диссертации рассмотрены основные случаи расчета неразрезных локально обжатых сталежелезобетонных балок.

В разделе 7 излагается сущность предлагаемой инженерной методики расчета и формирования опертых по контуру сталежелезобетонных плит с соотношением длинной l_{∂} к короткой l_{κ} стороне $\frac{l_{\partial}}{l_{\kappa}} \leq 2$. Благодаря пространственному характеру работы плиты ее условно выделяемые сталежелезобетонные полосы-балки имеют различную напряженность (значение напряжения в двутавре). Количественную оценку дали численные исследования, выполненные в линейной постановке. Их результаты приведены в работе.

На всем исследованном диапазоне соотношений жесткостей плит и балок напряженность, например, крайней балки существенно меньше, чем средней. Поэтому можно принять двутавр меньшего сечения, проверив повторным расчетом.

Изложенное позволяет сделать вывод о возможности направленного формирования перекрытий при условии расчетного обоснования.

В основу предлагаемого инженерного подхода к расчету сталежелезобетонной плиты положено допущение

$$q_i = q_{cp} \frac{\sigma_i}{\sigma_{cp}}. \quad (14)$$

Здесь q_i и σ_i – соответственно нагруженность и напряженность рассматриваемой условно выделенной из плиты сталежелезобетонной балки-полосы,

q_{cp} и σ_{cp} - соответственно нагруженность и напряженность средней сталежелезобетонной балки-полосы.

Расчет сталежелезобетонной плиты в линейной постановке позволяет выявить характер распределения напряженностей и в соответствии с зависимостью (14) определить величины равномерно распределенной нагрузки q_i , приходящейся на каждую соответствующую балку-полосу.

Расчет каждой условно выделенной из плиты нелинейно деформируемой локально обжатой сталежелезобетонной балки-полосы на действие выявленной нагрузки q_i в данной постановке автоматически учитывает пространственный характер работы сталежелезобетонной опертой по контуру плиты. Таким образом, расчет плиты сводится к расчету отдельных сталежелезобетонных балок-полос с локальным предварительным напряжением. Для рациональной компоновки стальных балок целесообразно использовать их разное по величине локальное обжатие.

Раздел 8 посвящен усилению эксплуатируемых сталежелезобетонных изгибаемых элементов и неразрезных балок (патент Украины 50136А) путем их локального предварительного напряжения дополнительной внешней стержневой арматурой под нагрузкой. Усиленная конструкция должна воспринять нагрузку q_2 , состоящую из действующей q_0 и планируемой q_1 дополнительной нагрузок.

В первую очередь, исходя из эпюры моментов, определяется длина участка l_{sp} , который требует усиления.

На втором этапе, используя метод предельного равновесия, представляется возможным определить требующуюся суммарную площадь поперечного сечения двух арматурных стержней

$$A_{sp} = \left(\frac{q_2 l_n^2}{8} - M_{сжн} \right) / \left(\frac{R_{sp} l_{sp}}{2} \sin \alpha_u + R_{sp} e_{spu} \cos \alpha_u \right). \quad (15)$$

где $M_{сжн}$ – несущая способность сечения сталежелезобетонной

балки с учетом силы обжатия.

Таким образом, предлагаемое обеспечивает возможность прямого проектирования усиления сталежелезобетонного изгибаемого элемента.

Разработанная методика может быть использована и при проектировании новых локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов.

Для усиления неразрезных сталежелезобетонных балок в промежуточных пролетах l_n требуемая с учетом перераспределения усилий площадь сечения двух напрягаемых стержней

$$A_{sp} = \left(\frac{q_2 l_n^2}{8} - M_{сжу} - M_{опи} \right) / \left(\frac{R_{sp} l_{sp}}{2} \sin \alpha_u + R_{sp} e_{sp} \cos \alpha_u \right). \quad (16)$$

где $M_{опи}$ – предельный опорный момент. Получена также зависимость для определения с учетом перераспределения усилий величины A_{sp} для крайнего пролета неразрезной балки при крайней шарнирной опоре.

В проведенных экспериментальных исследованиях ставилась задача оценить технологическую возможность усиления сталежелезобетонных балок под нагрузкой и его эффективность. На рис. 14 показано осуществление локального обжатия в пролетах двухпролетной неразрезной балки под нагрузкой.

Далее нагружение продолжалось, при этом ручные винтовые домкраты не удалялись. Разрушение балки наступало, когда практически одновременно достигалась текучесть в напрягаемой арматуре, двутавре и появлялись лещадки в сжатом бетоне. Благодаря локальному обжатию дополнительной арматурой величина разрушающей нагрузки возросла на 16%, нагрузка трещинообразования в полке в 2,25 раза. При большем количестве напрягаемой арматуры эффект растет.



Рис. 14. Осуществление локального обжатия под нагрузкой оттягиванием внешних арматурных стержней ручным винтовым домкратом

Практика подтвердила технологичность и эффективность способа усиления сталежелезобетонных конструкций локальным обжатием под нагрузкой. На рис. 15 показано осуществление локального обжатия сталежелезобетонных балок трехпролетного Рогатинского моста в г. Харькове.



Рис. 15 Оттягивание напрягаемой арматуры ручными винтовыми домкратами с контролем деформаций тензодатчиками

Достаточно широкое применение нашел способ усиления не пригодных к нормальной эксплуатации деревянных перекрытий подведением под них сталежелезобетонных локально предварительно напряженных перекрытий (рис.16) с устройством железобетонной плиты «мокрым» торкретированием снизу.



Рис.16 Подведение сталежелезобетонного локально предварительно напряженного перекрытия под существующее деревянное с использованием «набрызга» бетона

В данном случае особенно эффективно совместное применение локального и технологического предварительного напряжения.

Локальное обжатие дополнительной внешней арматурой класса А500С показало себя как средство снижения зыбкости, повышения жесткости эксплуатируемых сталежелезобетонных перекрытий зданий и сооружений.

Опыт практической реализации результатов настоящей работы подтвердил целесообразность применения предложенного предварительного напряжения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен эффективный класс несущих конструкций – сталежелезобетонные локально предварительно напряженные изгибаемые элементы и статически неопределимые системы на их основе.

Повышенные несущая способность и жесткость достигаются предварительным обжатием стальных балок сталежелезобетонных конструкций дополнительной (в отличие от традиционных железобетонных) внешней арматурой не по всей их длине, а только в зоне действия максимальных изгибающих моментов. металлоемкость конструкции снижается также благодаря тому, что прочностные показатели напрягаемой арматуры, например, класса

A500С в два раза выше, чем у стали двутавра.

2. Дополнительный эффект состоит в том, что после осуществления обжатия напрягаемые арматурные стержни совместно с упорами образуют шпренгельное подкрепление, которое по мере роста нагрузки создает дополнительное локальное обжатие.

3. Экспериментально выявлены закономерности деформирования и разрушения сталежелезобетонных изгибаемых элементов с локальным предварительным напряжением; благодаря обжатию напрягаемой арматурой несущая способность при принятых соотношениях параметров компонентов испытанных конструкций повысилась в 1,47 раза, трещиностойкость железобетонной полки в 1,6 раза, деформативность уменьшилась примерно в 2 раза. Эффект возрастает с ростом начального уровня предварительного напряжения, однако ограниченно. Величина начального напряжения должна определяться расчетом.

4. Исчерпание несущей способности конструкции характеризуется разрушением железобетонной полки вследствие достижения текучести в напрягаемой арматуре и стальной балке.

5. Так как обжатие осуществляется поперечным оттягиванием приваренных к балке парных арматурных стержней, сила оттягивания примерно на порядок меньше создаваемого ею усилия обжатия, вследствие чего оттягивание может производиться ручными винтовыми домкратами, т.е. без использования электроэнергии, вручную.

Как показал опыт внедрения, создаваемое вручную усилие натяжения может достигать 100 т и более.

6. Разработана методика расчетного определения параметров локального предварительного напряжения экспериментально и при внедрении в достаточной степени подтверждена (максимальное отличие результатов 8,26%, в среднем отличие составило 2,32%).

7. Проведенные экспериментальные исследования сталежелезобетонных изгибаемых элементов с железобетонной полкой в растянутой зоне показали, что

их локальное обжатие позволило повысить несущую способность в 1,36 раза, величину нагрузки трещинообразования в 2 раза, что делает рациональным формирование статически неопределимых локально предварительно напряженных сталежелезобетонных неразрезных балок и других систем.

8. Разработаны методика расчета и конструкция анкеров, которые могут изготавливаться из стальной арматуры непосредственно строительными организациями.

9. Проведенные эксперименты позволили выявить, что благодаря шпренгельной схеме работы напрягаемой арматуры потери напряжений в ней вследствие деформаций ползучести, усадки бетона и обжатия меньше, чем при прямолинейном расположении стержней.

10. Разработана методика расчета параметров натяжения напрягаемой арматуры для балок с нижним поясом криволинейного очертания.

11. Предложен сталежелезобетонный изгибаемый элемент с напрягаемой арматурой класса А500С, упрочняемой непосредственно в конструкции; разработана методика расчетного определения параметров вытяжки арматуры, назначения величин стрелок ее оттягивания на различных этапах вытяжки.

12. Разработанная конструкция узла крепления напрягаемой арматуры к стальной стенке сталежелезобетонной балки, защищенная патентом Украины 59242А, позволяет, как показали проведенные экспериментальные исследования, снизить величину деформаций в арматуре в 4...5 раз.

13. Предложены сталежелезобетонные неразрезные балки с локальным обжатием только средних надопорных зон, с обжатием надопорных и пролетных зон.

В испытаниях двухпролетных неразрезных балок выявлено, что 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. рост эффекта снижается.

Поэтому в большинстве случаев рационально ограничиваться локальным обжатием сталежелезобетонных неразрезных балок только в зоне промежуточных опор.

14. Разработана методика расчета неразрезных сталежелезобетонных балок с учетом направленного формирования перераспределения изгибаемых моментов.

15. Предложены эффективные сталежелезобетонные изгибаемые элементы с локальным и технологическим предварительным напряжением.

16. Разработана методика расчета локально и технологически предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов с учетом физической, геометрической и технологической нелинейности.

17. Предложены локально предварительно напряженные опертые по контуру плиты, разработана инженерная методика их расчета с учетом физической нелинейности и пространственного характера работы, сформулированы принципы формирования.

18. Экспериментально доказана возможность усиления сталежелезобетонных элементов и систем локальным обжатием под нагрузкой (декларационный патент Украины 50136А). Разработана методика расчета усиления, обеспечивающая возможность прямого проектирования.

19. Внедрение способа локального предварительного напряжения сталежелезобетонных конструкций на объектах г. Харькова подтвердило его технологичность и эффективность.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Избаш М.Ю. Сталежелезобетонные элементы в реконструкции зданий / М.Ю. Избаш, А.Л. Шагин // Будівельні конструкції.-1999.-№ 50.-С.78-84.

Личный вклад: решение по повышению несущей способности перекрытия

2. Избаш М.Ю. Направленное формирование напряженного состояния в локально предварительно напряженных сталежелезобетонных элементах / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Фархат Атиф Ахмед // Вісник Рівненського ДТУ.-1999.-№ 3.-С.294-298.

Личный вклад: подход к формированию рационального напряженного состояния

3. Избаш М.Ю. Восстановление эксплуатационной надежности

аварийных зданий с деревянными перекрытиями / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Фархат Атиф Ахмед // Будівельні конструкції.-1999.-№ 51.-С.387-392.

Личный вклад: основы усиления подведением локально предварительно напряженных элементов

4. Избаш М.Ю. Локальное обжатие элементов сталежелезобетонного перекрытия эксплуатируемого здания / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Фархат Атиф Ахмед // Науковий вісник будівництва.-2000.-№ 10.-С.53-58.

Личный вклад: предложено и реализовано совместное локальное и технологическое обжатие сталежелезобетонных элементов

5. Избаш М.Ю. Сталежелезобетонные изгибаемые элементы со стенкой увеличенной высоты / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, С.Е. Попов // Науковий вісник будівництва.-2000.-№ 11.-С.109-113.

Личный вклад: принципы устройства эффективного сталежелезобетонного перекрытия

6. Избаш М.Ю. Неразрезные балки комбинированного типа для перекрытий реконструируемых зданий / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, М.М. Мольский // Науковий вісник будівництва.-2001.-№ 12.-С.250-253.

Личный вклад: предложена неразрезная балка, локально обжатая в опорных зонах и стыкуемая в пролетных

7. Избаш М.Ю. Особенности расчета локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов / М.Ю. Избаш, С.Е., Попов, Фархат Атиф Ахмед // Науковий вісник будівництва.-2001.-№ 14.-С.245-258.

Личный вклад: методика оценки несущей способности сталежелезобетонных элементов

8. Избаш М.Ю. Эффективные опертые по контуру сталежелезобетонные плиты / М.Ю. Избаш // Науковий вісник будівництва.-2001.-№ 15.-С.68-73.

9. Избаш М.Ю. Система сталежелезобетонных перекрытий комплексного типа / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, А.Ф. Ганцев // Науковий вісник будівництва.-2002.-№ 16.-С.45-50.

Личный вклад: принцип формирования перекрытия комплексного типа с локальным обжатием

10. Избаш М.Ю. Технологическое предварительное напряжение сталежелезобетонных изгибаемых элементов / М.Ю. Избаш, В.В. Асанов // Науковий вісник будівництва.-2002.-№ 19.-С.188-192.

Личный вклад: расчетное определение усилий

11. Избаш М.Ю. Оценка несущей способности локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Р.Н. Шемет // Коммунальное хозяйство городов.-2002.-№ 43.- С. 52-55.

Личный вклад: методика расчета с использованием метода предельного равновесия

12. Избаш М.Ю. Эффективный тип перекрытий для реконструкции зданий и сооружений / М.Ю. Избаш, В.В. Асанов // Коммунальное хозяйство городов.-2002.-№ 45.-С. 212-216.

Личный вклад: обоснование эффективности и технологичности предложенного перекрытия

13. Избаш М.Ю. Сталежелезобетонные локально обжатые статически неопределимые конструкции с надпорными участками без зацепления / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш Р.Н. Шемет / Науковий вісник будівництва.-2003.-№ 21.-С.39-43.

Личный вклад: схемы локального обжатия неразрезных балок

14. Избаш М.Ю. Конструкции сталежелезобетонных перекрытий для продления ресурса зданий / М.Ю. Избаш // Науковий вісник будівництва.-2003.-№ 23.-С.109-115.

15. Избаш М.Ю. Особенности предварительного напряжения сталежелезобетонных конструкций / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, В.В. Асанов, Р.Н. Шемет // Будівельні конструкції.-2003.-№ 59.-С.565-571.

Личный вклад: методика оценки разрушающей нагрузки

16. Избаш М.Ю. Несущая способность балок, усиленных локальным обжатием дополнительной внешней арматурой / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, В.В. Асанов, Е.А. Гриневич // Науковий вісник будівництва.-2003.-№ 24.-С.68-73.

Личный вклад: методика расчета сталежелезобетонных элементов

17. Избаш М.Ю. Реконструкция трехпролетного Рогатинского моста в г. Харькове / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Р.Н. Шемет // Науковий вісник будівництва.-2004.-№ 28.-С.166-172.

Личный вклад: предложена схема усиления

18. Избаш М.Ю. Потери напряжений в арматуре локально обжатых железобетонных и сталежелезобетонных изгибаемых элементов / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, А.Н. Богданов // Науковий вісник будівництва.-2004.-№ 29.-С.54-59.

Личный вклад: экспериментальное исследование

19. Избаш М.Ю. Сталезалізобетонні конструкції з локальним та технологічним попереднім напруженням для нового будівництва і реконструкції / О.Л. Шагін, М.Ю. Избаш, В.В. Асанов // Зб. Наукові розробки Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури.-2005.-С.10-11.

Личный вклад: предложен принцип расчета локально и технологически обжатых элементов

20. Избаш М.Ю. Несущая способность локально предварительно напряженных изгибаемых элементов / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Р.Н. Шемет, А.Н. Богданов // Науковий вісник будівництва.-2005.-№ 32.-С. 85-90.

Личный вклад: методика расчета сталежелезобетонных элементов

21. Избаш М.Ю. Повышение несущей способности сталежелезобетонных балочных конструкций / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Р.Н. Шемет // Науковий вісник будівництва.-2005.-№ 33.-С. 49-61.

Личный вклад: схемы локального обжатия балок

22. Избаш М.Ю. Локально предварительно напряженные балки с арматурой, упрочняемой в конструкции / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, В.Б. Мазина // Науковий вісник будівництва.-2005.-№ 34.-С. 100-106.

Личный вклад: методика расчетного определения упрочнения арматуры

23. Избаш М.Ю. Усиление эксплуатируемых балочных конструкций локальным обжатием / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш // Будівельні конструкції.-2005.-Т. 2.-С.316-321.

Личный вклад: принцип расчета натяжения

24. Избаш М.Ю. Оценка эффективности локального предварительного напряжения сталежелезобетонных перекрытий / М.Ю. Избаш, А.С. Шабанов // Науковий вісник будівництва.–2006.–№ 35.–С. 102-106.

Личный вклад: подход к оценке эффективности

25. Избаш М.Ю. Особенности работы сталежелезобетонных балок с железобетонной полкой в растянутой зоне / М.Ю. Избаш, Р.Н. Шемет // Науковий вісник будівництва.–2006.–№ 37.–С. 52-61.

Личный вклад: предложения по повышению несущей способности и трещиностойкости

26. Избаш М.Ю. Оценка несущей способности двухпролетных сталежелезобетонных локально предварительно напряженных балок / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, Р.Н. Шемет // Науковий вісник будівництва.–2006.–№ 38.–С.81-86.

Личный вклад: методика, программа, анализ результатов проведенных экспериментов

27. Избаш М.Ю. Формирование распределения усилий в неразрезных сталежелезобетонных балках с помощью локального обжатия / М.Ю. Избаш // Науковий вісник будівництва.–2006.–№ 39.–С. 183-188.

28. Избаш М.Ю. Экспериментальная оценка работы сталежелезобетонных локально предварительно напряженных изгибаемых элементов / М.Ю. Избаш // Науковий вісник будівництва.–2007.–№ 41.–С. 67-76.

29. Избаш М.Ю. Моделирование работы сталежелезобетонных неразрезных балок в зоне промежуточных опор / М.Ю. Избаш // Коммунальное хозяйство городов.–2007.–№ 76.–С.22-33.

30. Избаш М.Ю. Принципы формирования локально предварительно напряженных сталежелезобетонных балок повышенной надежности / М.Ю. Избаш // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Зб. наук. праць.–2007.–№ 87.–С.160-172.

31. Избаш М.Ю. Локальное предварительное напряжение сталежелезобетонных балок с криволинейным нижним поясом / М.Ю. Избаш // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.- 2007.- № 39.-С.95-99.

32. Избаш М.Ю. Повышение эффективности сталежелезобетонных неразрезных балок / М.Ю. Избаш // Будівельні конструкції.-2007.-№ 67.-С. 620-625.

33. Избаш М.Ю. Принципы расчета сталежелезобетонных опертых по контуру плит / В.А. Воблых, М.Ю. Избаш // Науковий вісник будівництва.-2007.- № 42.-С. 81-86.

Личный вклад: принцип распределения нагрузок

34. Избаш М.Ю. Формирование сталежелезобетонных опертых по контуру плит перекрытий и принципы их расчета / М.Ю. Избаш // Вісник Інженерної академії України.-2007.-№ 3-4.-С. 294-296.

35. Избаш М.Ю. Усиление эксплуатируемых сталежелезобетонных однопролетных изгибаемых элементов / М.Ю. Избаш // Науковий вісник будівництва.-2008.-№ 46.-С. 61-66.

36. Избаш М.Ю. Снижение расхода напрягаемой арматуры в локально обжатых сталежелезобетонных изгибаемых элементах / М.Ю. Избаш // Коммунальное хозяйство городов.-2008.-№ 81.-С.15-23.

37. Избаш М.Ю. Усиление эксплуатируемых неразрезных сталежелезобетонных балок / М.Ю. Избаш // Вісник Інженерної академії України.-2008.- № 1.-С. 135-141.

38. Декларацийний патент на винахід, № 50136А. Спосіб підсилення будівельних конструкцій / Шагін О.Л., Воблих В.О., Избаш М.Ю., Гриневич Є.О., Лучковський І.Я.-Заявл. 12.10.2001, опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.

Личный вклад: предложение по усилению опорных зон локальным обжатием в пролетах

39. Декларацийний патент на винахід № 59242А. Вузол закріплення напруженої арматури до сталезалізобетонної балки / Шагін О.Л., Избаш М.Ю., Воблих В.О., Асанов В.В.-Заявл. 19.12.2002, опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8.

Личный вклад: методика экспериментального исследования эффективности.

40. Избаш М.Ю. Сталежелезобетонные изгибаемые элементы с локальным предварительным напряжением / А.Л. Шагин, М.Ю. Избаш, С.Е. Попов // Вестник БелГТАСМ.-Белгород: БелГТАСМ, 2002.-№ 2.-С.63-69.

Личный вклад: определение усилия обжатия

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

Личный вклад: предложена рациональная последовательность локального и технологического обжатия.

АНОТАЦІЯ

Избаш М.Ю. Локально попередньо напружені сталеалізобетонні конструкції для нового будівництва і реконструкції.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди.-Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2008.

Запропоновано новий клас сталеалізобетонних конструкцій – локально попередньо напружені елементи, що згинаються, та статично невизначені системи, побудовані на їх використанні.

Обтиснення здійснюється зовнішньою арматурою високої або підвищеної (А500С) міцності, завдяки чому знижується металоємність конструкції.

Проведені експериментальні дослідження, які підтвердили ефективність розроблених конструкцій.

Запропоноване додаткове технологічне обтиснення підвищує жорсткість та несучу здатність сталеалізобетонних локально попередньо напружених конструкцій.

Розроблена методика розрахунку конструкцій з урахуванням фізичної, геометричної та технологічної нелінійності.

Запропоновані та експериментально досліджені нерозрізні сталезалізобетонні балки з локальним обтисненням в опорних, опорних та прольотних зонах одночасно. Розроблена методика їх розрахунку з урахуванням спрямованого перерозподілу зусиль.

Запропоновані оперті по контуру сталезалізобетонні плити, принцип раціонального компонування, локального обтиснення, підхід до розрахунку.

Експериментально підтверджена можливість підсилення сталезалізобетонних конструкцій локальним напруженням під навантаженням, розроблена методика розрахунку.

Результати роботи широко впроваджені в практику.

Ключові слова: сталезалізобетонні конструкції, локальне обтиснення, технологічна нелінійність, напружена арматура.

АННОТАЦІЯ

Избаш М.Ю. Локально предварительно напряженные сталежелезобетонные конструкции для нового строительства и реконструкции.-Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения.- Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2008.

Диссертация посвящена созданию нового класса сталежелезобетонных изгибаемых элементов и статически неопределимых систем на их основе, эффективность которых достигается локальным (в зоне действия максимальных изгибающих моментов) предварительным напряжением арматурой повышенной прочности, например, класса А500С.

На основании выполненного анализа современного состояния проблем в области разработки и исследования сталежелезобетонных конструкций, существующих способов предварительного напряжения строительных конструкций, методов расчета, сформулированы направления необходимых исследований, разработок методик расчета.

Локальное обжатие осуществляется оттягиванием вниз напрягаемой арматуры, концы которой приварены к стенке стальной балки. Оттянутое

положение фиксируется упорами. Применение арматуры повышенной прочности класса А500С обеспечивает снижение металлоемкости. Разработаны методики расчета натяжения арматуры для балок с прямолинейным и криволинейным очертанием нижнего пояса; деформационного упрочнения арматуры непосредственно в конструкции; предложенных типов противосдвиговых анкеров; потерь напряжений; узла крепления арматуры к стенке балки.

Проведены экспериментальные исследования сталежелезобетонных локально обжатых изгибаемых элементов с железобетонными полками в сжатой, а также в растянутой зонах. Несущая способность повышается соответственно в 1,47 и 1,36 раза, трещиностойкость в 1,6 и 2 раза.

Разработана методика расчета локально обжатых сталежелезобетонных изгибаемых элементов с учетом физической, геометрической и технологической нелинейности.

Предложены сталежелезобетонные элементы с совместным локальным и технологическим предварительным напряжением, разработана соответствующая методика их расчета, учитывающая изменение расчетной схемы конструкции, состава сечения, расположения напрягаемой арматуры.

Разработаны и экспериментально исследованы неразрезные балки, обжатые на опорах, в пролетах и на опорах; методика их расчета с учетом направленного формирования перераспределения изгибающих моментов на основе локального обжатия зон ограниченных шарниров пластичности.

Предложена методика расчета и формирования сталежелезобетонных локально обжатых опертых по контуру плит.

Экспериментально доказана возможность усиления сталежелезобетонных однопролетных и неразрезных балок локальным обжатием под нагрузкой, разработана методика расчета усиления. Уделено большое внимание особенностям реализации результатов работы в практике.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, локальное обжатие, технологическая нелинейность, напрягаемая арматура.

ABSTRACT

Izbash Michael George. Locally prestressed steel ferroconcrete structure for

new building and reconstruction.

Thesis for a scientific degree of doctor of technical sciences in specialty 05.23.01 - building structures, buildings and constructions. Ukrainian State Academy of Railway transport, Kharkov, 2008.

New type of steelferroconcrete structures – locally prestressed members which are bent, and statically indefinite systems built thanks to their using is presented.

Squeezing is made by external reinforcement of high or higher (A500C) power thanks to what metalcapacity of the structure is lowered.

Experimental investigations which confirmed the effectiveness of the elaborated structures are offered.

The offered additional technological squeezing raises stiffness and bearing capacity.

Method of calculating the structures accounting physical, geometrical and technological non-linearity is elaborated.

Continuous steelferroconcrete beams with simultaneous local squeezing in support and span areas are offered and experimentally investigated. Method of this calculation accounting the directed redistribution of the efforts is elaborated.

Supported along the contour steelferroconcrete slabs, the principle of the rational forming, approach, to the calculation are offered.

The possibility of increasing steelferroconcrete structures by local stressing under loading is experimentally confirmed. Method of calculation is elaborated.

The results of the work are implemented into practice.

Keywords: steelferroconcrete structures, local squeezing, technological non-linearity, stressed reinforcement.

Подписано к печати 5.11.2008 г. Формат 60x90 1/16

Бумага для лазерных принтеров.

Усл.-печ. л. 0,9.

Заказ № . Тираж 100 экз. Бесплатно.

61000, г. Харьков, ул.

Диссертацией является рукопись.

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

Научный консультант

доктор технических наук, профессор
Шагин Александр Львович,
Харьковский государственный технический
университет строительства и архитектуры,
заведующий кафедрой железобетонных
и каменных конструкций.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Корсун Владимир Иванович,
Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры,
заведующий кафедрой
железобетонных конструкций;

доктор технических наук, профессор
Савицкий Николай Васильевич,
Приднепровская государственная
академия строительства и архитектуры,
заведующий кафедрой железобетонных
и каменных конструкций, проректор
по научной работе;

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

Защита состоится «5» февраля 2009 г. в 13-00 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 «25» декабря 2008 г.

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

Ватуля Г.Л.