

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
им. М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

САМИТОВ Раис Абдулганиевич

УДК 625.745.12

**КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТЫ УСИЛЕНИЯ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ  
СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

Специальность 05.23.15 — Мосты, тоннели  
и другие строительные сооружения на железных  
и автомобильных дорогах

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового  
Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспор-  
та имени М.И.Калинина

Научные руководители - академик АН УССР, доктор технических  
наук, профессор Бондарь Н.Г.  
кандидат технических наук,  
доцент Еремеев В.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Юсилевский Л.И.  
кандидат технических наук,  
доцент Загора А.Л.

Ведущая организация - Государственный институт по  
проектированию и изысканиям  
автомобильных дорог Союздорпроект

Защита диссертации состоится "17" декабря 1987 г.  
в 15 часов на заседании специализированного совета КИИ4.07.02  
"Мосты, тоннели и другие строительные сооружения на железных и  
автомобильных дорогах" в Днепропетровском институте инженеров  
железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина по адресу: 320700,  
ГСП, г.Днепропетровск, ул. Академика Лазаряна, 2.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для успешного выполнения выдвинутой XXVII съездом КПСС задачи ускорения социально-экономического развития страны необходимо повысить эффективность всех отраслей народного хозяйства, в том числе - транспорта.

Технический прогресс автомобильного транспорта, производительность труда в значительной мере определяются грузоподъемностью и скоростью движения транспортных средств, интенсивностью транспортных потоков, что зависит от технического состояния автомобильных дорог, наиболее ответственные элементы которых - мосты.

По ряду причин срок службы до капитального ремонта или замены отдельных типов мостов составляет 20-30 лет, что требует больших затрат финансовых средств и материально-технических ресурсов.

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что значительная экономия затрат на поддержание мостов в технически исправном состоянии может быть получена повышением долговечности сооружений, в частности - усилением ослабленных элементов, повышением ресурса всего сооружения в целом.

Для этого необходима разработка соответствующих конструкций, технологий и теории расчета. Ряд особенностей усиленных пролетных строений требуют развития положений расчета и конструирования действующих строительных норм. Поэтому с одной стороны необходимо иметь уточненную методику расчета на основе методов теории упругости, что позволит расчетным путем выявить опасные сечения и места концентрации напряжений, а с другой - простой и доступный способ расчета для широкого использования в практике проектирования.

Работа выполнена в рамках общесоюзного координационно-информационного плана научно-исследовательских работ на 1985 год по тематике строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и мостов (пункт I18) и программы Минавтодора РСФСР по теме "Провести исследования и разработать нормативный документ по усилению элементов железобетонных мостов" на 1985-1986г. (индекс УДК 624.3, гос.регистр. №60039610).

Целью работы является усовершенствование аналитического

5122a

Днепропетровский  
институт инженеров  
авт. трансп.  
им. М. И. Калинина  
БИБЛИОТЕКА

варианта метода конечных полос (МКП) для расчета усиленных железобетонных балок в плоском напряженном состоянии с соответствующей переработкой программы расчета для ЭВМ, создание конструкции усиления и практического метода расчета усиленных железобетонных балок пролетных строений автодорожных мостов применительно к СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы", экспериментальное обоснование применимости МКП в расчетах усиленных железобетонных балок, сравнительный анализ разработанной методики расчета с наиболее распространенными методами расчетов и данными испытаний мостов.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- решена задача расчета составных ортогонально-анизотропных плит в плоском напряженном состоянии с учетом податливого (без трения) сопряжения полос;
- обоснована принятая механико-математическая модель и ее расчетная схема для изучения напряженно-деформированного состояния усиленных железобетонных балок пролетных строений;
- разработаны дополнения к методике расчета СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы" в части учета особенностей усиленных железобетонных балок;
- разработана методика экспериментальных исследований на моделях усиленных балок и проведен анализ полученных результатов.

Методика исследований включает в себя теоретические исследования на основе аппарата аналитического варианта МКП с применением специальных программ для ЭЦВМ ЕС-1033 и Электроника ДЗ-28, экспериментальные исследования на моделях усиленных балок и натурные испытания усиленных пролетных строений автодорожных мостов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов проверена расчетом моделей усиленных балок и реальных конструкций в сравнении с данными испытаний и расчетами по другим широко распространенным методам.

Практическая ценность и реализация работы. Результаты работы приняты к использованию при расчете многослойных усиленных балок по программе РМ-4 в виде соответствующих изменений по тексту программы и в исходных данных (фонд программ КазИСИ).

Конструкция усиленных железобетонных балок и методика их расчета вошли в отраслевой нормативный документ "Руководство по усилению мостов методом наклейки поверхностной арматуры", выпущенный ЦЕНТИ Минавтодора РСФСР в 1987 году и регламентирующий усиление (конструкция, расчеты, технология) балок пролетами 8,6 – 16,8 м.

Способ усиления по а.с. №1090784 железобетонных пролетных строений автодорожных мостов методом наклейки поверхностной рабочей арматуры экспонировался на ВДНХ СССР, был отмечен наградами и нашел массовое применение. По состоянию на 31.12.1986 года использован в 16 организациях Минавтодора РСФСР, экономический эффект от использования разработки по данным Госстатотчетности составил 339 тыс. руб.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры "Мосты" ДИИТа, на XXX-XXXVI научно-технических конференциях Казанского ИСИ, на Республиканских научно-технических конференциях "Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР" (1984 и 1986гг) в г. Владимире, в отделе искусственных сооружений Совздорпроекта, отделе ремонта и содержания искусственных сооружений ГипродорНИИ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 141 наименования, 3 приложений и изложена на 133 страницах, с 40 рисунками и 1 таблицей.

Автор защищает:

- дополнения к теории метода конечных полос (МКП) в части учета податливости сопряжения полос и программу ее реализации;
- практическую методику расчета усиленных железобетонных балок мостов;
- способ усиления железобетонных пролетных строений автодорожных мостов методом наклейки поверхностной рабочей арматуры;
- результаты экспериментальных исследований на моделях усиленных железобетонных балок.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы, основные цели и структура диссертации.

В первой главе названы причины появления дефектов, понижающих несущую способность железобетонных балочных пролетных строений мостов. Приведены цифры, характеризующие общие тенденции развития этой проблемы в СССР и за рубежом. В частности указано, что только в РСФСР недостаточную несущую и пропускную способность имеет более чем 120 000 пог.м железобетонных мостов, из построенных за последние 20-30 лет. Со времени выхода первых норм в России в 1891 году нормативная временная нагрузка мостов многократно менялась. Например, для пролета в 20 м она увеличилась почти в 9 раз. Поэтому балочные мосты пролетами 6-20 м, построенные до 1965-1970гг., как правило, уже нуждаются в усилении. В усилении могут нуждаться мосты для перевозки по ним сверхнормативных грузов. Из сказанного видно, что усиление мостов является самостоятельной инженерной задачей, имеющей важное значение.

Над решением этой задачи в различных направлениях работают ЦНИИС, СоюздорНИИ, ГипродорНИИ, БелдорНИИ, МАДИ, МИИТ, ДИИТ, КАДИ, ХАДИ, СибАДИ, Львовский ПИ, Хабаровский ПИ, трест Росдороргтехстрой Минавтодора РСФСР, КазИСИ и др.

Классифицированы методы усиления железобетонных балок: включением в работу с балкой дополнительных напрягающих элементов (стержни, пряди, канаты, струны); регулированием усилий за счет смещения опор в неразрезных конструкциях; изменением статической схемы работы моста; повышением поперечной жесткости пролетного строения; наклейкой дополнительной листовой арматуры в ослабленной зоне; установкой дополнительных несущих элементов.

Сформулированы требования к методу усиления: простоты и надежности; отсутствия помех нормальному движению транспорта, минимального веса элементов усиления, возможности индустриализации изготовления и механизации работ, обеспечения низких эксплуатационных расходов, сохранения или улучшения внешнего вида сооружения.

Дан краткий обзор существующих методов усиления железобетонных балок, указаны их конструктивные особенности и неко-

торые недостатки. Способ усиления выбирают с учетом типа усиленной конструкции, состояния основных элементов, требуемой степени усиления, условий производства работ и т.д.

Предложена новая конструкция усиления железобетонных балок пролетных строений мостов (рис. 1).

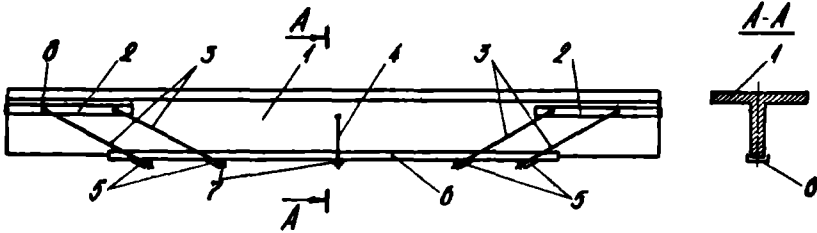


Рис. 1. Конструкция усиленной железобетонной балки

Железобетонная балка I усиливается на действие как изгибающего момента, так и поперечной силы комбинированным металлическим каркасом. Он включает: верхний пояс из двух пар металлических пластин 2, расположенных под плитой проезжей части балки I и соединенных между собой болтами 8; нижний пояс 6 выполнен из швеллера, объемлющего полками ребро балки, и снабженного упорами 5, на которых резьбовыми соединениями 7 закреплены концы наклонных тяг 3. Для прижатия швеллера 6 к ребру балки I устроены вертикальные тяги 4. Форма нижнего пояса металлического каркаса принята из удобства силевания его с ребром балки I.

При разработке конструкции ставилась цель снижения труда и материалоемкости, повышения эксплуатационной надежности и исключения помех движущемуся по мосту транспорту.

Названы особенности работы усиленных железобетонных балок под нагрузкой: наличие мест концентрации напряжений в местах

передачи сосредоточенных усилий от элементов усиления в клеевом шве между металлом каркаса и бетоном балки. Эти особенности нуждаются как в качественной, так и в количественной оценке.

Рассмотрены методы расчета мостовых конструкций. Показано, что для решения поставленных перед работой задач доступным и достаточно точным является метод конечных призм (МКП), предложенный О.Зенкевичем для расчета мостовых железобетонных балок. Его особенностью является использование в качестве конечного элемента расчетных схем равных длине конструкции призм. В данном случае ставилась задача расчета усиленных балок в плоском напряженном состоянии, поэтому был использован, как наиболее простой аналитический вариант МКП. Его особенностью является использование призм-полос равной ширины. Этот выбор обусловлен конструктивными особенностями усиливаемых балок: относительно небольшими (8-17м) пролетами, постоянной по длине высотой, возможностью применения на начальном этапе готовой программы РМ-4 для расчетов на ЭВМ.

Учитывая состояние вопроса в данной работе поставлены следующие задачи:

- доработать существующий аппарат МКП и программу расчета на ЭВМ для расчета усиленных железобетонных балок в плоском напряженном состоянии;
- экспериментально обосновать применимость МКП в решении задач расчета усиленных балок;
- экспериментально исследовать влияние на степень усиления железобетонной балки технологических операций монтажа металлического каркаса, склеивания и наличия дефектов;
- разработать дополнения к методике СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы" для расчета усиленных балок с учетом их особенностей.

Во второй главе приведены основные положения теории расчета аналитического варианта метода конечных призм. Расчетная схема (рис. 2) железобетонной усиленной балки при расчете ее в плоском напряженном состоянии имеет вид прямоугольной составной по ширине ортотропной плиты. Продольными узловыми линиями плита расчленена по оси продольных ребер (арматуры и т.п.), а также в местах приложения нагрузки от анкерных элементов конструкции усиления ( $\sigma_i^0$ ,  $\tau_i^0$ ) на ряд ортотропных полос.

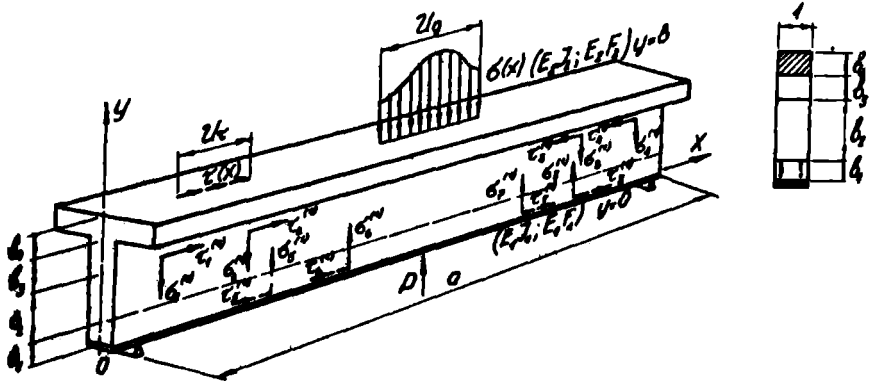


Рис. 2. Расчетная схема усиленной железобетонной балки

Плоское напряженное состояние каждой ортотропной полосы описывается известным дифференциальным уравнением относительно функции напряжений  $F(x, y)$

$$A_1 F_{,x^4} + 2A_2 F_{,x^2 y^2} + A_3 F_{,y^4} = 0, \quad (I)$$

(индекс, проставленный после запятой, означает дифференцирование по соответствующей переменной)

где  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  - приведенные жесткостные характеристики ортотропной плиты.

Решение уравнения (I) после подстановки Л.Файлона

$$F = \sum_m f_m \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (m = 1, 2, \dots, \infty)$$

и преобразований приводится к системе линейных алгебраических уравнений

$$[A_m] \vec{X}_m = \vec{q}_m, \quad (2)$$

где  $A_m$  — ленточная матрица коэффициентов системы порядка  $4n \times 4n$  ( $n$  — число полос), такая, что  $A_{ji} = 0$  при  $|j-i| > 6$ ,  $X_m$  — вектор неизвестных (констант интегрирования) уравнения (1)  $\bar{q}_m$  — грузовой вектор.

Разрешающая система уравнений (2) формируется построчно из условий сопряжения и граничных условий на свободных кромках.

При  $y=0, \theta$

$$\begin{aligned} (\sigma_y)^* &= \sigma_x \pm \sigma_z - \sigma(x) = 0, \\ (\tau_{xy})^* &= \tau_{xy} \pm \tau_z - \tau(x) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где

$\sigma_x$  — нормальные напряжения в ортотропной полосе,  
 $\sigma_z$  — нормальная составляющая реакции бортового элемента (арматура или ребра)

$$\sigma_z = EI \chi_{xy};$$

$\tau_{xy}$  — касательные напряжения в ортотропной полосе,  
 $\tau_z$  — касательная к продольной оси бортового элемента составляющая его реакции

$$\tau_z = EF \psi_{,x^2};$$

$\sigma(x), \tau(x)$  — функции продольного распределения интенсивности поперечных и касательных нагрузок по кромкам. Здесь

$\psi(x, y)$  — функции продольных и поперечных перемещений.

$$\sigma_x = E \psi_{,x} \pm \frac{EI}{W} \psi_{,x^2},$$

где  $E$  — модуль упругости бортового элемента,  $I, W$  — моменты инерции и сопротивления,  $F$  — площадь поперечного сечения,  $\sigma_x$  — нормальные напряжения в бортовом элементе.

Условия сопряжения по узловым линиям при  $y = \theta_i$

$$(\sigma_y)_{i-1}^* - (\sigma_y)_{i+1}^* = 0, (\tau_{xy})_{i-1}^* - (\tau_{xy})_{i+1}^* = 0, \psi_i = \psi_{i+1}, \psi_i' = \psi_{i+1}' \quad (4)$$

При свободном (без трения) сопряжении)

$$(\sigma_y)_{i-1}^* - (\sigma_y)_{i+1}^* = 0, (\tau_{xy})_{i-1}^* - (\tau_{xy})_{i+1}^* = 0, \psi_i = \psi_{i+1} \quad (5)$$

Записаны также граничные условия для случая, когда известны перемещение кромок (они могут быть заданы аналитически и таблично).

Дано описание программы РМ-4, и инструкции по подготовке исходных данных. Они включают 10 простых переменных и 17 массивов. Приведен пример подготовки исходных данных для тестовых примеров расчета. Результаты расчета проиллюстрированы графиками нормальных ( $\sigma_x$ ) и касательных напряжений ( $\tau_{xy}$ ). Рассмотрены два тестовых примера: составная балка из двух частей, свободно уложенных друг на друга и железобетонная балка, армированная одиночным арматурным стержнем. Анализ полученных результатов свидетельствует и правильности вычислений, их достоверности.

Результатом теоретических исследований явился дополненный вариант программы РМ-4 на алгоритмическом языке ФОРТРАН, позволяющий учитывать условия свободно опирания полос друг на друга.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования на моделях усиленных железобетонных балок. Перед ними были поставлены задачи:

- получить детальную картину напряженно-деформированного состояния балки до и после усиления;
- сравнить полученные результаты с данными расчетов по балочной теории и ММП;
- определить характер разрушения усиленных балок;
- рассмотреть влияние отдельных конструктивных особенностей и технологических операций на напряженное состояние балки и сформулировать рекомендации по практическому использованию полученных результатов.

Был изготовлен специальный испытательный стенд и 9 моделей длиной 1,0 м и высотой 0,1 м из армированного гипса в форме балок таврового сечения. Модули упругости  $E_s = 2,06 \cdot 10^5$  МПа и гипса  $E = 7800$  МПа, коэффициент армирования  $\mu = 0,0024$ . Арматура - две проволоки диаметром 1,8 мм (ст. 3). Коэффициент армирования усиленных балок  $\mu = 0,01$ .

Разрушающая нагрузка неусиленных балок, определенная испытанием серии из 3<sup>x</sup> моделей, - 1600 Н, предельная нагрузка,

соответствующая упругой стадии - 900 Н.

В ходе испытаний измерялись деформации - тензодатчиками с базой 20 и 50 мм, прогибы - индикаторами часового типа I-МИГ с ценой деления 0.001 мм. Их устанавливали в середине пролета и над опорами.

Вторая серия из трех балок при испытаниях до разрушения не доводилась. Загружение прекращали после образования и раскрытия до 0,3 мм нормальной трещины в середине пролета. Третья серия из трех балок доведена до обрыва рабочей арматуры с последующим восстановлением установкой металлического каркаса.

Каждая модель была испытана в следующих состояниях: без усиления, работающая в упругой стадии; усиленная металлическим каркасом по шпренгельной схеме (без наклейки нижнего пояса каркаса на ребро); усиленная с наклейкой.

Испытание заключалось в загрузке (каждое дублировалось 3 раза) модели последовательно нарастающими этапами и разгрузке в обратной последовательности.

Выполнен анализ деформированного состояния моделей. Металлический каркас с одной парой включенных в работу ближних к середине пролета наклонных тяг уменьшает прогибы на 15,5%, а крайних к опорам - 22,4%. Полностью включенный в работу металлический каркас дает снижение прогибов на 25,9%. Последующее склеивание эпоксидным клеем нижнего пояса каркаса с ребром балки уменьшает прогиб до 29,3%.

При наличии раскрытой до 0,3 мм нормальной трещины в середине пролета балки степень усиления составила 49%.

При усилении полностью разрушенных балок их несущая способность оказалась большей чем до разрушения. На рис. 3 приведены результаты испытания балок до разрушения.

Начальная ступень загрузки равнялась 300 Н, при нагрузке 1300 Н в нормальном сечении образовалась трещина раскрытием 0,10 мм, при нагрузке 1900 Н образовались наклонные трещины в четверти пролета шириной 0,10 мм. При нагрузке 2100 Н они полностью раскрылись по всему сечению снизу доверху. Ширина нормальных трещин при этом составила 0,3 мм. При нагрузке 2300 Н балка приобрела волнообразный профиль. Балка сохраняла несущую способность. При нагрузке 2400 Н произошел обрыв наклонного тяжа.

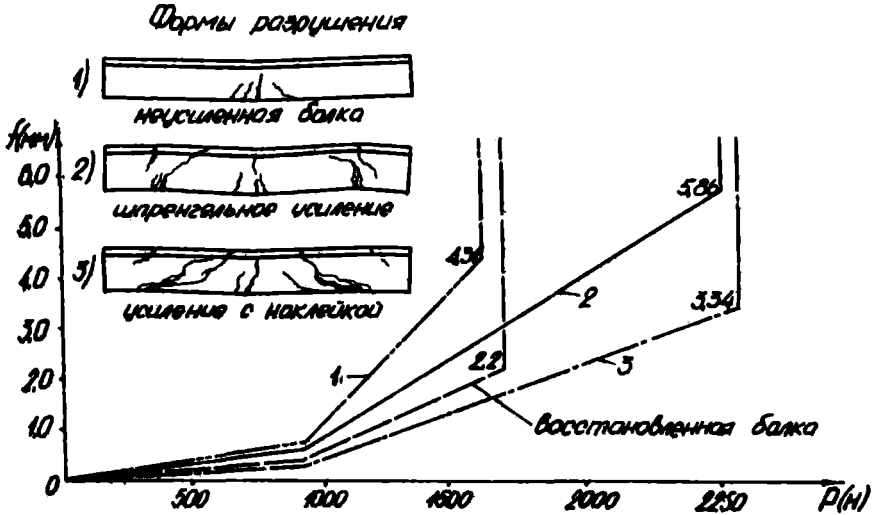


Рис. 3. Испытание балок до разрушения

Проанализировано напряженное состояние моделей. Рассмотрены два основных состояния: напряжения от натяжения наклонных тяг; напряжения от внешней (временной) нагрузки и от натяжения наклонных тяг. Экспериментальные значения напряжений сравнивались с расчетными, полученными на основе балочной теории и по программе РМ-4. В последнем случае сходимость результатов оказалась удовлетворительной.

Степень усиления по значениям максимальных растягивающих напряжений 32,8% и сжимающих - 19,2% при шпренгельной схеме. После наклейки нижнего пояса металлического каркаса на ребро балки эти значения возросли соответственно до - 44,5 и 23%.

При натяжении наклонных тяг существенно (до 43%) увеличиваются сжимающие напряжения в приопорной зоне.

Более подробная картина напряженно-деформированного состояния получена расчетом на ЭВМ. Записаны исходные данные для программы РМ-4. Металлический каркас в расчете заменяется реакциями наклонных тяг - вертикальными и горизонтальными силами. Полученные результаты проиллюстрированы в виде эпюр напряжений

$\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  в пяти поперечных сечениях по длине полупролета балки. Сделаны практические выводы о необходимости выполнения проверок сечения по верхней кромке верхнего пояса металлического каркаса на скалывание ребра балки.

Проведенные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования позволили установить применимость шпренгельной схемы усиления, зависимость степени усиления от исходного состояния балок и наличия дефектов, возможность восстановления полностью разрушенных балок с обрывом рабочей арматуры.

Анализ напряженно-деформированного состояния припорной зоны свидетельствует о необходимости минимизации дополнительных нагрузок от натяжения наклонных тяг при обжатии клеевого шва.

В четвертой главе приведены положения практической методики расчета усиленной железобетонной балки. Она включает этапы:

- расчета несущей способности балок с учетом их пространственного взаимодействия;
- определения требуемой площади поперечного сечения нижнего пояса каркаса;
- вычисления требуемой длины клеевого шва между ребром балки и нижним поясом каркаса;
- определения сдвигающих и отрывающих напряжений по клеевому шву и на их основе - поперечного сечения и угла наклона тяг;
- расчета элементов верхнего пояса каркаса по рабочей площади наклонных тяг;
- определения числа болтов и расстояния между ними (рис. I);
- расчета на срез, смятие и местный изгиб элементов крепления.

Из указанных этапов выделены те, которые требуют дополнений к существующей методике СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы". Это расчет по нормальным сечениям, определение усилий натяжения дополнительной арматуры и расчет местных напряжений в клеевом шве между бетоном балки и арматурой усиления.

Расчет по нормальным сечениям выполняется для трех случаев положения нейтральной оси балки по высоте сечения: случай, когда она проходит в полке балки, ребре или переходит в результате усиления из полки в ребро.

Соответственно этим случаям получены расчетные формулы для

определения площади поперечного сечения арматуры усиления  $A_{sd}$ :  
 При  $x < h_f'$ ,  $x + \Delta X < h_f'$

$$A_{sd} = \frac{R_s \delta_i'}{R_{sd}} \left[ (h_{os} - x) - \sqrt{(h_{os} - x)^2 - \frac{2M_d}{R_s \delta_i'}} \right]; \quad (6)$$

при

$$x > h_f' \quad A_{sd} = \frac{R_s \delta_i'}{R_{sd}} \left[ (h_{os} - x) - \sqrt{(h_{os} - x)^2 - \frac{2M_d}{R_s}} \right]; \quad (7)$$

при

$$x < h_f', \text{ но } x + \Delta X > h_f' \quad A_{sd} = \frac{R_s \delta_i'}{R_{sd}} \left[ (h_{os} - x) - \sqrt{(h_{os} - x)^2 - \frac{2M_d + 2 \frac{Q_i - Q}{b} (h_f' - x) (h_{os} - \frac{h_i - x}{2})}{R_s \delta_i'}} + \frac{R_s (Q_i - Q) (h_f' - x)}{R_{sd}} \right]. \quad (8)$$

Здесь  $M_d$  — избыточный изгибающий момент, действующий на балку в расчетном сечении;  $R_{sd}$  и  $A_{sd}$  — расчетное сопротивление растяжению и площадь дополнительной арматуры усиления;  $h_{os}$  — расстояние от центра тяжести арматуры до верхней грани плиты балки;  $\Delta X$  — приращение сжатой зоны в результате усиления балки (обозначения, не поименованные выше, полностью соответствуют СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы").

Усилие натяжения дополнительной арматуры  $N_d$  определяется из условия выравнивания напряжений в ней и основной арматуре с учетом постоянной нагрузки, действующей на балку. Рассматривается упругая стадия работы балки.

$$N_d = \frac{n_s A_{sd} A_s \sigma_{sp}}{\frac{h_{os} - y_u}{h_{os} - y_n} A_s + n_s A_{sd}} \quad (9)$$

где  $y_u, y_n$  — расстояния до центра тяжести балки соответственно от верхней и нижней граней балки,  $\sigma_{sp}$  — напряженное в основной арматуре балки от постоянной нагрузки до усиления.

Местные напряжения в клеевом шве — отрывающие  $\sigma_y$  и скалывающие  $\tau_{xy}$  (рис. 4). определяются по формулам

$$\sigma_y = \frac{M}{\delta h^2} k_1 + \frac{P}{\delta h} k_2, \quad \tau_{xy} = \frac{T}{\delta h} k_3. \quad (10)$$

где

$$M = \frac{n \delta \sigma}{2 J_{red}} (y_n - \delta) (M_0 + \frac{Q_s h}{2});$$

$$T = - \frac{n M_0 \delta \sigma_i}{J_{red}} (y_n - \frac{\delta}{2}), \quad \rho = \frac{h Q_s \delta \sigma_i^2}{2 J_{red}} (y_n - \frac{\delta}{2}). \quad (11)$$

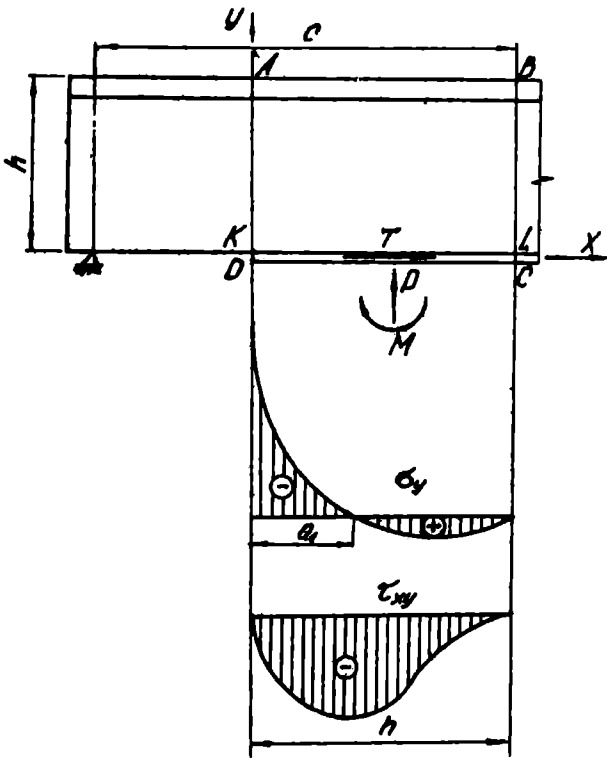


Рис. 4. Местные напряжения  
в клеевом шве

для определения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ .

Приведены результаты испытаний пролетных строений автодорожных мостов расчетным пролетом 7,6 м, 8,4 м, 11,4 м, 13,7 м, 16,3 м. Отмечено, что степень усиления их составила от 9 до 42% по прогибам. Это хорошо согласуется с результатами теоретических и экспериментальных исследований. Аналогичные результаты получены при испытаниях в 1986 году в общей сложности 30 мостов.

Здесь

$M_c$  и  $Q_c$  - изгибающий момент и поперечная сила в сечении BC (рис.4);  
 $n = E_{sd} / E_b$  - отношение модулей упругости дополнительной арматуры и бетона;

$\theta$ ,  $\delta$  - ширина и толщина дополнительной арматуры;

Выражения (10, II) получены по аналогии с методикой, предложенной Е.Е.Гишманом и М.Е.Гишманом для определения местных напряжений вблизи анкеров высокопрочной арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Ими же подготовлены таблицы

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция усиления железобетонных балок автодорожных мостов металлическим комбинированным каркасом. Она отвечает требованиям индустриализации, имеет достаточную эксплуатационную надежность, позволяет выполнять работы по усилению без создания помех движущемуся по мосту транспорту.

2. Выявлены особенности работы усиленных железобетонных балок под нагрузкой. Они заключаются в необходимости учета местных напряжений в местах приложения сосредоточенных усилий, различий в физико-механических свойствах составляющих усиленную балку материалов, дополнительных напряжений от натяжения элементов усиления.

С достаточной для инженерных расчетов прочностью эти особенности учитываются при расчете с использованием аппарата аналитического варианта метода конечных полос.

3. Метод конечных полос доработан для случая сдвига (без трения) полос относительно друг друга. Записаны соответствующие граничные условия. Получены расчетные соотношения, учитывающие равенство нулю касательных напряжений по узловым линиям. Внесены изменения в программу РМ-4, учитывающие эти дополнения.

4. Экспериментальными исследованиями на моделях усиленных балок получена подробная картина их напряженно-деформированного состояния под нагрузкой с учетом конструктивных и технологических особенностей.

Установлена допустимость шпренгельной схемы усиления (без наклейки нижнего пояса металлического каркаса на ребро усиливаемой балки). Степень усиления балки по этой схеме понижается в среднем на 20%, но она позволяет выполнять работы в зимних условиях, или при отсутствии необходимых для склеивания материалов. Возможно и поэтапное усиление - в зимних условиях по шпренгельной схеме, затем при благоприятных летних - с наклейкой нижнего пояса на ребро балки.

5. Степень усиления балок зависит от их исходного состояния, наличия трещин и иных дефектов. Она тем выше, чем больше ослабляющее влияние дефекта.

6. Монтажное натяжение наклонных тяг для обжатия клевого шва на период твердения клея, для натяжения нижнего пояса каркаса необходимо принимать минимальным для обеспечения перенапряжения приопорной зоны балки.

Днепропетровский  
институт инженеров  
желез. доп. транспорта  
им. М. И. Калинина  
БИБЛИОТЕКА

5122a

7. Сравнительный анализ экспериментальных значений напряжений качественно и количественно согласуется с результатами расчетов на ЭЦВМ ЕС-1033 по программе РМ-4 что свидетельствует о справедливости принятой расчетной схемы и методики расчета.

8. Разработана практическая методика расчета усиленных железобетонных балок в виде дополнений к СНиП 2.05.03-84 "Мосты и трубы". Она включает разделы расчета по нормальным к оси балки сечениям, определения усилия натяжения дополнительной арматуры, расчета местных напряжений в клеевом шве между бетоном ребра балки и арматурой усиления.

9. Результаты работы вошли в "Руководство по усилению мостов методом наклейки поверхностной арматуры", утвержденное Минавтодором РСФСР, Анализ испытаний балок пролетами 7,6м, 8,4м, 11,1м, 13,7м, 16,8м до и после их усиления свидетельствует о достижении в усиленных балках требуемой степени усиления.

Разработанная конструкция усиленной железобетонной балки и методики расчета применяются в различных производственных организациях Минавтодора РСФСР.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.с. 1090784 (СССР), МКИ Е01Д 7/02 Усиленная балка железобетонного пролетного строения моста- №3542178/29-33; Заявлено 26.01.83; Опубл. 07.05.84, Бюл. №17.-2с. (соавторы Еремеев В.П., Мусохранов В.В.).

2. Об усилении пролетных строений железобетонных балочных мостов//Научн.-техн. конф. Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР.-Владимир, 1984, с.80-82 (соавторы Джумадилов А.А., Еремеев В.П., Исмагилов Р.А.)

3. Усиление железобетонных балочных мостов//Автомобильные дороги.-1985, №11, с.16 (соавторы Еремеев В.П., Мусохранов В.В., Рузов А.М., Щетинин В.В.).

4. Резерв повышения грузоподъемности балочных диафрагменных пролетных строений с каркасной арматурой//Научн.-техн. конф. Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР.-Владимир, 1986, с.129-130 (соавторы Еремеев В.П., Джумадилов А.А.).

5. О пространственной работе диафрагменных пролетных строений с каркасной арматурой // Вопросы статистической и динамической

работы, оценки грузоподъемности и эксплуатационной надежности мостов: Межвуз. сб. тр. - Днепропетровск: ДИИГ, 1986, с. 93-96 (соавтор Еремеев В.П.).

6. Расчет поверхностно армированных железобетонных балок в плоском напряженном состоянии// Вопросы статики и динамики мостов: Межвуз. сб. тр. - Днепропетровск: ДИИГ, 1987, с. 117-122 (соавтор Еремеев В.П.).

7. Руководство по усилению железобетонных мостов методом наклейки поверхностной арматуры/ ЦЕНТИ Минавтодора РСФСР, М., 1987. - 41с. (соавторы Еремеев В.П., Джумадилов А.А., Мусохранов В.В., Щетинин В.В.).



Автореферат...

№ 05398. Подписано к печати 6. II. 87г. Формат 60x84/16.  
Бумага писчая. Печать плоская. Усл. печ. л. 0,47. Тираж 100.  
Заказ № 11977. Бесплатно. Городская типография № 3 Днепропетровского областного управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 320000 г. Днепропетровск ул. Серова, 7.

Сканировала Камянская Н.А.