

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

МОХАМЕД ХАЙЕЛЬ КАСЕМ САЛЕХ

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ  
НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК  
ПОСЛЕ УСИЛЕНИЯ

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции,  
здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Киев - 1996



00739556 (Z)

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре ~~механики~~ ~~технического университета строи-~~  
 тельства и архитектуры (КГТУСА).

- Научный руководитель - к.т.н., профессор  
 Мурашко Леонид Андреевич
- Официальные оппоненты - д.т.н., профессор  
 Городецкий Александр Сергеевич
- к.т.н., с.н.с.  
 Критов Виталий Алексеевич

Ведущая организация - НИИпроектреконструкция Госкомхоза  
 Украины (г. Киев)

Защита состоится "7" мая 1996 г. в 18-00 часов на за-  
 седании специализированного совета Д 01.18.05 в Киевском государ-  
 ственном техническом университете строительства и архитектуры по  
 адресу: 252037, г. Киев-37, Воздухофлотский проспект, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГТУСА .

Автореферат разослан "9" апреля 1996 г.

Ученый секретарь  
 специализированного совета  
 к.т.н., с.н.с.

Кобиев В.Г.

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
 АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень исследования по тематике диссертации. Для развития строительной науки актуальными являются разработка и внедрение методов расчета железобетонных конструкций, усиленных после некоторого периода их эксплуатации. В большинстве практических случаев усиление конструкций осуществляют путем изменения их статической схемы: разрезные конструкции превращаются в неразрезные за счет введения дополнительных связей на опорах, используют шпренгельные системы, подводят промежуточные опоры или устраивают подвески.

Реализация истории нагружения железобетонных конструкций выражается в накоплении определенного объема остаточных деформаций и снижению жесткости сечений за счет длительных процессов, трещинообразования и падения модуля упругости под воздействием деструктивных процессов в бетоне. Как правило, усилению конструкций предшествует частичная или полная разгрузка, которая стимулирует процесс разрушения структуры бетона и развитие трещин в тех зонах, где они отсутствовали при наличии нагрузки. Разгрузка выявляет остаточные деформации в бетоне и арматуре сечений, остаточное напряженное состояние, а в статически неопределимых конструкциях после полной разгрузки фиксируются остаточные реакции, обратные по знаку реакциям при нагрузке. По длине разгруженных конструкций фиксируются остаточные усилия и прогибы, величины которых зависят от уровня нагружения, с которого производится разгрузка.

Следовательно, к моменту усиления конструкции необходимо иметь четкое представление о сложившемся остаточном напряженно-деформированном состоянии и о жесткостных характеристиках сечений, а также об остаточной прочности сечений.

В технической литературе по усилению конструкций прочность усиленных сечений рассматривается без учета предшествующего нагружения и остаточных усилий.

Недостаточно исследованы вопросы возможности перераспределения усилий в статически неопределимых конструкциях после их усиления. Отсутствует методика расчета прогибов неразрезных балок после усиления с учетом остаточных прогибов. В некоторых случаях удовлетворительные результаты при оценке прогибов можно получить, используя методику расчета сборно-монолитных конструкций.

Сказанное выше подтверждает актуальность исследования прочности и деформативности железобетонных статически неопределимых конструкций после их усиления.

Целью и задачами настоящей работы являются:

- Исследование влияния процента армирования бетона на его деформативность и прочность при однократной разгрузке с любого уровня начального нагружения;
- Совершенствование метода оценки напряженно-деформированного состояния статически неопределимых железобетонных балок, усиленных после предшествующего нагружения;
- Экспериментальные исследования влияния истории нагружения, последовательности и вида усиления статически неопределимых железобетонных балок на их прочность, деформации и способность к перераспределению усилий.

Методика исследований. На основе анализа экспериментальных данных о распределении усилий напряжений и деформаций в сечениях неразрезных балок уточнены расчетные параметры прочности нормальных и наклонных сечений, а также методы их теоретической оценки.

Личный вклад диссертанта в разработку научных результатов:

- Результаты экспериментальных и теоретических исследований реакции бетона с разным процентом армирования на однократную разгрузку и последующее нагружение;
- Результаты экспериментальных исследований особенностей напряженно-деформированного состояния статически неопределимых железобетонных балок, составленных из элементов с разной историей нагружения и усиленных путем изменения их статической схемы;
- Методика расчета прочности сечений нормальных и наклонных к продольной оси статически неопределимых железобетонных балок после их усиления.

Научная новизна работы:

- Получены новые экспериментальные данные о связи между процентом армирования и деформациями бетона при его однократной разгрузке и последующего нагружения, а также разработан метод аналитического описания связи  $\sigma_c - \epsilon_c$  на всех ветвях диаграммы деформирования;
- Получены новые данные о влиянии предшествующего нагружения и вида усиления на прочность и деформации неразрезных железобетонных балок;
- Предложен способ учета истории нагружения на жесткость

сечений неразрезных балок после их усиления и их прогибы.

Практическое значение работы. Результаты исследований позволяют повысить достоверность оценки несущей способности и жесткости статически неопределимых конструкций, входящих в состав реконструируемых жилых и общественных зданий, а также инженерных сооружений.

Уровень реализации, внедрение результатов работы. Результаты экспериментальных исследований включены в проект рекомендаций по усилению конструкций и переданы в институт НИИпроектреконструкция с целью использования их при разработке проектов реконструкции зданий в г. Киеве.

Апробация работы. Основные результаты доложены и одобрены на 53-й, 54-й и 56-й научно-технических конференциях Киевского государственного технического университета строительства и архитектуры в 1992, 1993 и 1995 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 научные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов, списка использованной литературы, содержащего 140 наименований. Общий объем диссертации 157 стр., в том числе 80 страниц машинописного текста, 59 рисунков и 13 таблиц.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е   Р А Б О Т Ы

Во введении дана общая оценка задач, которые возникают при усилении железобетонных конструкций и определен круг актуальных вопросов, необходимость решения которых считается первоочередным. Приведены сведения о составе диссертации, целях работы, вкладе автора в решаемую проблему, о новизне результатов и о публикациях автора.

В первом разделе приведен анализ методов усиления железобетонных конструкций. Анализируются достижения в теории расчета усиленных конструкций, изложенные в известных работах Ю.В.Бондаренко, М.Р.Бельского, Л.А.Дудышкина, И.М.Литвинова, Ю.И.Лозового, Анри Лоссье, Н.М.Онуфриева, Г.М.Спригина, Р.Г.Иксанова, А.И.Фадеева, Е.Р.Хилло, Л.А.Шагина, А.А.Шижкина, а также сделан обзор работ Е.М.Бабичева, А.Н.Бамбуры, А.Я.Барашикова, О.Я.Берга,

Л.Н.Зайцева, Н.И.Карпенко, Т.А.Мухамедиева, Л.А.Мурашко  
В.И.Осидзе, Г.Н.Ставрова, С.В.Щепелева и др. авторов, интересных  
в смысле накопления сведения о процессах, проходящих в бетоне,  
и о реакции железобетона на воздействие переменных нагрузок  
эксплуатационного периода.

Учитывая, что в большинстве случаев усиление конструкций со-  
провождается изменением расчетной схемы, были проанализированы  
работы В.Н.Байкова, В.Я.Бачинского, В.М.Бондаренко, А.А.Гвозде-  
ва, Ган Ражан Силя, Р.Л.Маиляна и Д.Р.Маиляна, Г.И.Гитмана,  
А.Б.Гольшера, Л.Н.Зайцева, А.Я.Кальницкого, А.М.Козловского,  
С.М.Крылова, А.Е.Кузьмичева, А.И.Мангушева, М.Тихого и И.Раскос-  
ника, а также зарубежных авторов, посвященные работе неразрез-  
ных балок и методам их расчета.

Приведенный анализ литературных источников позволил сделать  
выводы о том, что в существующих методах расчета прочности и  
жесткости железобетонных балок после их усиления не учитывается  
остаточное напряженное состояние, формирующееся к моменту уси-  
ления конструкции в результате эксплуатации и разгрузки, пред-  
шествующей усилению.

Учитывая сказанное выше, основная цель данной работы форми-  
руется как разработка методики расчета прочности и деформаций  
статически неопределимых балок после их усиления с учетом оста-  
точных деформаций и усилий в сечениях.

Для реализации этой цели было необходимо:

1. Изучить закономерности развития деформаций и получить  
аналитические зависимости  $\sigma_b = f(\epsilon_b)$  для армированного бетона  
на всех участках диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$  при осевом сжатии после од-  
нократного нагружения, разгрузки с любого уровня нагружения и  
последующего нагружения.

2. Экспериментально исследовать прочность и способность к  
перераспределению неразрезных железобетонных балок после их  
усиления путем добетонирования, а также изучить влияние истории  
нагружения на перераспределение усилий.

3. Экспериментально изучить влияние длины и прочности зоны  
контакта между бетоном усиливаемой конструкции и бетоном омоно-  
личивания на прочность наклонных сечений опорных зон.

4. Исследовать влияние остаточных деформаций и напряжений,  
накопленных до усиления, на прогибы неразрезных балок после  
усиления.

5. В рамках действующих норм разработать методику расчета прочности и деформаций неразрезных балок после их усиления с учетом истории нагружения.

Во втором разделе описываются и анализируются экспериментальные исследования влияния разгрузок с любого уровня нагружения на прочность и деформативность армированного и неармированного бетона. Основная цель исследований - накопление сведений о влиянии на процесс деформирования процента армирования и разработка аналитического аппарата для определения остаточных деформаций в армированном бетоне после разгрузки.

При проведении исследований варьировался процент армирования и уровни нагрузки, с которой производилась разгрузка, а также уровни, до которых снижалась нагрузка (табл. I).

На основе проведенных исследований уточнены параметры диаграммы деформирования армированного бетона  $\sigma_b - \epsilon_b$  с нисходящей ветвью и с участками разгрузки, производимыми с различных уровней нагружения (рис. I).

Опираясь на анализ результатов собственных экспериментальных исследований и результаты других исследований, полученных в КГТУСА, установлено, что кривая  $\sigma_b - \epsilon_b$  для армированного бетона сохраняет вид кривой для неармированного бетона, но ее параметры зависят от процента армирования бетона.

Для описания отдельных участков кривой  $\sigma_b - \epsilon_b$  при осевом сжатии армированного бетона предлагаются следующие выражения:

для участка  $O A_0$  при  $\epsilon < \epsilon_0$

$$\sigma = 2k_1 \sigma_0 \epsilon / (\epsilon_0 + \epsilon), \quad (1)$$

для участка  $A_0 A_4$  при  $\epsilon_0 \geq \epsilon > \epsilon_u$

$$\sigma = k_1 \sigma_0 \left\{ 1 - [200(\epsilon - \epsilon_0)]^2 \right\} \quad (2)$$

Для участков  $A_1 O_1$  и  $A_2 O_2$  при разгрузке с уровня  $\sigma_1 < \sigma_0$  и в диапазоне деформаций  $0 \leq \epsilon \leq \epsilon_0$  и  $\epsilon_0 \leq \epsilon \leq \epsilon_u$ , соответственно

$$\sigma = (\epsilon - k_2 \epsilon_1) \sigma_1 / (k_2 \epsilon_1 - \epsilon) \quad (3)$$

Установлено, что выражение (3) удовлетворительно описывает поведение армированного бетона также на участке  $A_2 O_2$ .

Кроме того, доказано, что на ветвях повторной нагрузки (участка  $O_1 A_0$  или  $A_3 O_4$ ) в любом диапазоне деформаций  $\epsilon_1$  можно

Таблица I

Объем и содержание испытаний армированных призм  
100x100x400 мм

№ п/п	Наименование серий	Армирование	$\mu$ , %	Уровень нагрузки	К-во образцов	Цель испытаний
1	АП-I	4 $\emptyset$ 4 Вр-I	0,5	до $R_u$	3	Исследование влияния процента армирования на прочность и деформации бетона при монотонном нагружении
2	АП-II	4 $\emptyset$ 6 А-III	1,0	до $R_u$	3	
3	АП-III	4 $\emptyset$ 8 А-III	1,76	до $R_u$	3	
4	АПП-I	4 $\emptyset$ 4 Вр-I	0,5	$0 \leq R \leq 0,8R_u$	3	Исследования влияния процента армирования на прочность, деформации и накопление остаточных деформаций в армированном бетоне при однократной разгрузке и повторной нагрузке
5	АПП-II	4 $\emptyset$ 6 А-III	1,0	$0,8R_u \leq R \leq 0,3R_u$	3	
6	АПП-III	4 $\emptyset$ 8 А-III	1,76	$0,3R_u \leq R \leq R_u$	3	

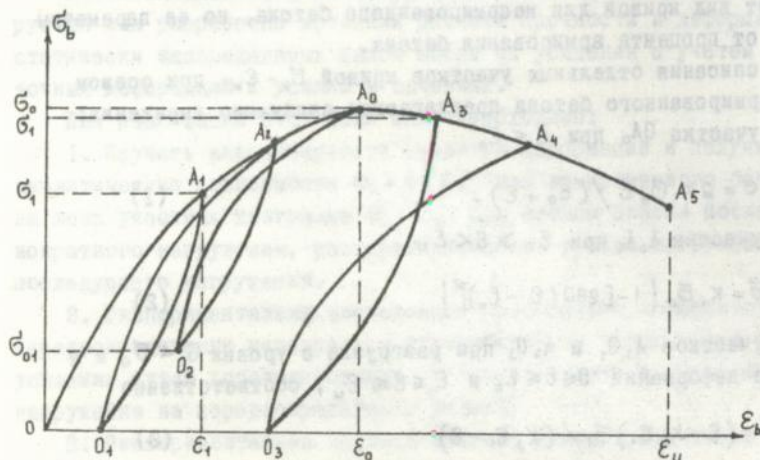


Рис. I. Общий вид диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$  при осевом сжатии неармированного и армированного бетона с разгрузками любого уровня

использовать формулу

$$\sigma = 2G_1 \left( \frac{\varepsilon - K_4 \varepsilon_1}{\varepsilon_0 + \varepsilon \cdot K_5 \varepsilon_1} \right) \left( \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_1} \right). \quad (4)$$

На основании обработки результатов проведенных экспериментов методом наименьших квадратов были определены диапазоном изменения коэффициентов  $K_1 \dots K_5$ . Установлено, что коэффициенты  $K_2 \dots K_5$  практически мало зависят от процента армирования и для реальных диапазонов армирования могут быть приняты их средние значения:  $K_2 = 0,098$ ;  $K_3 = 1,12$ ;  $K_4 = 0,25$  и  $K_5 = 0,47$ .

Установлена связь между коэффициентом  $K_1$  и процентом армирования  $\mu$ , удовлетворительно описываемая выражением

$$K_1 = 1 - \mu/20. \quad (5)$$

Было обращено внимание на тот факт, что однократная разгрузка армированных образцов с уровня  $\eta < 0,8$  до  $\eta = 0,3$  не влияет на прочность образцов в целом и даже несколько повышает модуль деформаций бетона за счет уплотнения структуры бетона.

Сделаны выводы об увеличении предельных деформаций на 20...35% армированного бетона при последующем повторном нагружении. Установлено влияние процента армирования на остаточные деформации, уменьшающиеся с ростом армирования.

В третьем разделе приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок на всех стадиях их создания, усиления и нагружения. Объем и содержание испытаний представлены в табл. 2.

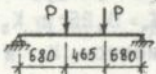
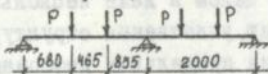
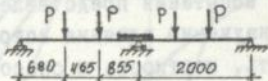
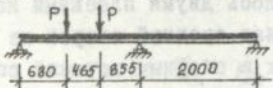
Основное внимание уделено изучению влияния истории нагружения и вида усиления на прочность, жесткость и способность к перераспределению усилий в железобетонных конструкциях после их усиления. Исследовались разрезные и неразрезные балки, нагружаемые как до, так и после их усиления. Всего было испытано 4 серии образцов, каждая из которых содержала два образца-близнеца длиной 4200 мм. Все неразрезные балки собирались из однопролетных железобетонных балок длиной 2125 мм и сечением 100x200 мм.

Армирование балок осуществлялось двумя плоскими каркасами с рабочей арматурой в пролете и над средней опорой из 2  $\varnothing 14$  А-III.

Процент армирования пролетных и опорных сечений составил 1,76%. Конструктивная арматура балок была принята из арматуры 2  $\varnothing 8$  А-III. Поперечная арматура балок состояла из арматуры  $\varnothing 6$  А-I,

Таблица 2

Объем и содержание экспериментальных исследований балок

№ п/п	Наименование серий	Режим и схема нагружения	Цель испытаний
1	Б-1	$0 \leq \eta \leq 1$ Монотонные нагружения  Схема I	Изучение основных и деформативных характеристик базовых образцов
2	БН-1	Испытания образцов по схеме I в диапазоне $0 \leq \eta \leq 0,88$ и последующие испытания по схеме 2 до разрушения после объединения базовых образцов  Схема 2	Изучение влияния истории нагружения на прочность, жесткость и перераспределение усилий в железобетонных балках усиленных путем изменения статической схемы
3	БН-2	Испытания неразрезных сборных балок в диапазоне нагружения $0 \leq \eta \leq 0,6$ с последующей полной разгрузкой и усилением балок на опоре путем добетонирования и с последующим испытанием до разрушения  Схема 3	Исследование влияния истории нагружения неразрезных балок на их прочность и деформации при последующем усилении опорных зон
4	БН-3	Нагружения одного пролета в двухпролетных балках в диапазоне $0 \leq \eta \leq 0,5$ с последующей полной разгрузкой усиления балок по верхней плоскости и испытания до разрушения  Схема 4	Исследование влияния истории нагружения и вида усиления на прочность деформации балок, усиленных во всех сечениях путем добетонирования в верхней зоне

установленной с шагом 60...80...100 мм. Прочность наклонных сечений по поперечной силе обеспечивалась на всех этапах нагружения опытных балок. При объединении частей балок опорная арматура каркасов сваривалась с помощью ванной сварки.

В серию Б-1 входили однопролетные железобетонные балки (базовые образцы) пролетом 1825 мм, которые испытывались по однопролетной схеме двумя сосредоточенными силами, приложенными на расстоянии 0,37L от крайней опоры. Нагрузка монотонно поднималась до разрушения с целью определения основных прочностных и деформативных характеристик базовых образцов.

Элементы, из которых компоновали балки серии БН-1, нагружались до уровня  $0,88M_u$  по схеме испытаний балок серии Б-1, а затем, после полной разгрузки, их объединили в неразрезные балки путем сварки выпусков опорной арматуры над средней опорой и бетонирования стыка мелкозернистым бетоном. После 28 суток твердения бетона балки серии БН-1 были испытаны по двухпролетной схеме при монотонном повышении нагрузки до разрушения.

Основной целью этих испытаний было изучение влияния истории нагружения на прочность, жесткость и перераспределение усилий в железобетонных балках, усиленных путем изменения расчетной схемы.

Балки серии БН-2 состояли из базовых образцов серии Б-1, которые предварительно не нагружались. После объединения базовых образцов в двухпролетные балки, последние испытывались путем однократного воздействия двумя сосредоточенными силами, расположенных в третях каждого пролета до уровня примерно  $0,8M_u$ . После полной разгрузки растянутая зона над промежуточной опорой усиливалась слоем армированного бетона на ограниченной длине пролетов. Основная цель испытаний балок этой серии — определить критерии прочности усиленных сечений неразрезных балок, работающих в зоне максимальных моментов и перерезывающих сил.

Балки серии БН-3 представляли собой двухпролетные конструкции, собранные из не подвергавшихся ранее нагружению элементов. После их объединения, испытания неразрезных балок проводились путем загрузки только одного пролета до уровня  $0,5M_u$ . После полной разгрузки, выполнялось усиление верхней зоны по всей длине балки и проводилось нагружение до разрушения по старой схеме. Этими испытаниями преследовалась цель исследовать влияние вида усиления на способность к перераспределению уси-

лий неразрезных конструкций после их усиления.

При анализе напряженно-деформированного состояния сечений образцов всех серий обращено внимание на накопление остаточных деформаций, влияние остаточных напряжений на перераспределения усилий по длине элементов, изменение жесткостных характеристик сечений и закономерности развития прогибов.

Показано, что при усилении сечений над промежуточными опорами слоем армированного бетона на ограниченной длине, несущая способность сечений может ограничиваться прочностью зоны контакта старого и нового бетона. Кроме того, увеличение жесткости опорных сечений на ограниченной длине пролетов практически не повлияло на перераспределение усилий по длине элементов после усиления.

В четвертом разделе излагается общий порядок расчета статически неопределимых балок после их усиления и изложена методика расчета прочности нормальных сечений элементов, усиленных по сжатой зоне, а также наклонных сечений у промежуточных опор, разрушение которых происходит по растянутой зоне.

В качестве основных предпосылок расчета нормальных сечений после их усиления (рис. 2) принимаются:

1. На первом этапе расчета прочность бетона сжатой зоны оценивается приведенной прочностью бетонов, находящихся в сжатой зоне:

$$R_{b,red} = (\sum R_{bi} \cdot S_i / S). \quad (6)$$

2. В слое дополнительно уложенного бетона в сжатой зоне при достижении предельного состояния сечением реализуется нисходящая ветвь диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$ , что равноценно принятию условий:

$$\epsilon_{bu} = 0,003 \dots 0,0035, \\ \sigma_{sc} = \epsilon_{bu} \cdot E_s \leq 500 \text{ МПа для сжатой арматуры класса А-III ... А-IV.}$$

3. При определении деформаций бетона и арматуры на этапах разгрузки и повторной нагрузки после усиления справедлива гипотеза плоских сечений.

4. Напряжения  $\sigma'_{sc}$  в сжатой арматуре  $A'_s$  усиливаемого элемента после его усиления и нагружения определяются с учетом остаточных напряжений.

5. Достижение сечением предельного состояния характеризуется текучестью растянутой арматуры ( $\sigma_s = R_s$ ) и соблюдением ус-

ЛОВИЯ  $\xi < \xi_e$ .

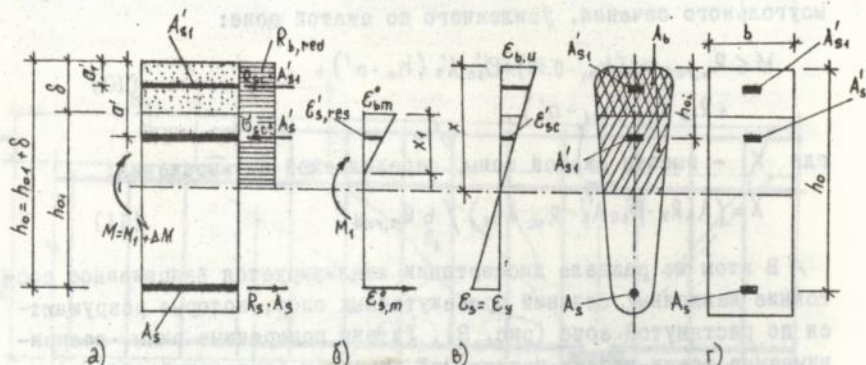


Рис. 2. Схема распределения усилий (а), деформаций после разгрузки (б) и деформаций после усиления (в) в сечении (г), нормальном к продольной оси изгибаемого элемента при его расчете по прочности

Учтены данные экспериментальных исследований, касающиеся накопления остаточных деформаций и напряжений в сжатой зоне и растянутой арматуре сечений перед их усилением. Эти напряжения предлагается вычислять по формулам:

$$\sigma_{s,m}^0 = \xi_1 h_0 M_1 / B_1 \quad \text{и} \quad \sigma_{s,m}^0 = h_0 (1 - \xi_1) M_1 / B_1, \quad (7)$$

где  $\xi_1$ ,  $M_1$  и  $B_1$  — относительная высота сжатой зоны, момент, до уровня которого разгружается сечение, и жесткость сечения, соответствующая моменту  $M_1$ .

Напряжения в сжатой арматуре  $A'_s$  усиливаемого элемента определяется по формуле

$$\sigma'_{sc} = \sigma'_{s,res} + \sigma_{s,c,u} \left( \frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right) / \left( 1 - \frac{\omega}{1,1} \right), \quad (8)$$

где  $\xi_i$  — относительная высота сжатой зоны бетона, равная  $\xi_i = x / h_{0i}$  и используемая для определения  $\sigma_{s1}$  по формуле (67) СНиП 2.03.01-84 для общего случая расчета прочности:

$$\sigma'_{s,res} = E_s \varepsilon_{b,u}^0 [1 - a' / (\xi_1 h_0)]. \quad (9)$$

Формула (9) справедлива для любых форм поперечного сечения. Предложены формулы для определения несущей способности прямоугольного сечения, усиленного по сжатой зоне:

$$M \leq R_{b,red} b x (h_{o1} - 0.5x) + \sigma'_{sc} A'_s (h_o - a') + R_{sc} A'_{s1} (h_{o1} - a'_1), \quad (10)$$

где  $x$  - высота сжатой зоны, определяемой из выражения:

$$x = (A_s R_s - \sigma'_{sc} A'_s - R_{sc} A'_{s1}) / b R_{b,red}. \quad (11)$$

В этом же разделе диссертации анализируется напряженное состояние наклонных сечений промежуточных опор, которые разрушаются по растянутой зоне (рис. 3). Учтены поперечные силы, воспринимаемые всеми видами продольной арматуры (нагельный эффект) и силы зацепления в наклонном сечении. Рассматривается два случая, когда прочность зоны контакта больше (1-й случай) и меньше (2-й случай) несущей способности дополнительно уложенной арматуры:

- для 1-го случая, когда  $F_{sh,u} > N_{s1}$ :

$$N_s (h_o - a - \alpha - 0.5x) + N_{s1} (h_{o1} - 0.5x) + (Q_s + Q_{s1})c + Q'_s L_1 + 0.5(Q_{sw} + F_{cfc} \cdot \cos \theta)c \geq Q_u (a - c - L_1); \quad (12)$$

- для 2-го случая, при  $F_{sh,u} < N_{s1}$ :

$$N_s (h_{o1} - 0.5x) + F_{sh,u} (h_{o1} + a - 0.5x) + Q_s \cdot c + Q'_s L_1 + 0.5(Q_{sw} + F_{cfc} \cdot \cos \theta)c \geq Q_u (a - c - L_1). \quad (13)$$

Значения несущей способности зоны контакта на сдвиг определяется по формуле, учитывающей процент армирования зоны контакта:

$$F_{sh,u} = \sigma_{sh} \cdot L_{sh} \cdot b_{su} = (2.8 + 0.8 \mu) R_{sc} L_{sh} \cdot b_{sh}. \quad (14)$$

В четвертый раздел также включены все экспериментальные данные о прогибах неразрезных балок, которые были измерены на этапах начального нагружения, разгрузки, усиления и повторного нагружения. Сделан вывод о существенно линейном нарастании прогибов образцов при повторном нагружении и о накоплении остаточ-



ных прогибов, которые необходимо учитывать при оценке деформаций конструкций после усиления. Показано, что путем усиления неразрезных балок по всей длине можно существенно уменьшить деформации эксплуатируемых элементов. Приведен анализ изменения жесткости сечений после их усиления и даны общие рекомендации по аналитической оценке прогибов неразрезных балок после их усиления.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментально исследована связь между напряжениями и деформациями армированного и неармированного бетона при однократной нагрузке, разгрузке и последующем нагружении. На основании анализа собственных результатов и результатов исследований других авторов получены аналитические выражения (формулы (I)...(5)), дающие возможность с достаточной для практики точностью учитывать влияние коэффициента армирования на связь  $\sigma - \epsilon$  на всех ветвях нагрузки и разгрузки.

2. Экспериментально исследованы особенности напряженно-деформированного состояния статически неопределимых балок после их усиления и изучено влияние истории нагружения на способность к перераспределению усилий. Уточнены зависимости для определения несущей способности усиленных сечений с учетом остаточного напряженного состояния сечений (формулы (7)...(II)), сформировавшегося после разгрузки.

3. Установлено, что наиболее эффективным в смысле повышения несущей способности и жесткости неразрезных балок является добетонирование слоем армированного бетона по всей их длине.

При усилении зон над промежуточными опорами на ограниченной длине необходима проверка прочности наклонных сечений по моменту и расчет прочности зоны контакта бетона слоя усиления и растянутого бетона усиливаемой конструкции.

4. Предложена методика расчета прочности наклонных сечений, усиленных по растянутой зоне на ограниченной длине промежуточных опорных зон (формулы (12) и (13)). Выявлено влияние прочности и деформативности зоны контакта на вид предельного состояния и прочность наклонных сечений.

5. Экспериментально изучены закономерности изменения жест-

ности сечений на этапах разгрузки, усиления и последующего нагружения неразрезных железобетонных балок. Предложен алгоритм определения жесткости сечений после их усиления с учетом наличия остаточных деформаций в сжатом бетоне и растянутой арматуре. Накоплены новые экспериментальные данные о влиянии предшествующей истории нагружения и вида усиления на деформации железобетонных неразрезных балок с ненапрягаемой арматурой после их усиления.

6. При повторном нагружении неразрезных балок после их усиления, способность к перераспределению усилий в этих балках незначительна ввиду исчерпания запаса неупругих деформаций на этапах нагружения, предшествующих усилению. Распределение усилий в таких усиленных конструкциях может оцениваться по "упругому" расчету, но с учетом фактического изменения жесткости сечений.

7. На основе анализа экспериментальных данных о распределении деформаций в сечениях усиливаемых элементов предложена методика аналитического определения прогибов железобетонных конструкций после их усиления, дающая удовлетворительные для практики результаты.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Мохамед Х.К., Барашиков А.Я., Мурашко Л.А. Прочность железобетонных неразрезных балок после их усиления // Библиографический указатель депонированных рукописей ГИНТБ Украины. - К., 1995. - № 1132 Ук95. - 28 с.

2. Мохамед Х.К., Мурашко Л.А. Прогибы железобетонных неразрезных балок после их усиления // Библиографический указатель депонированных рукописей ГИНТБ Украины. - К., 1995. - № 1133 Ук95. - 12 с.

3. Мохамед Х.К. Прочность неразрезных железобетонных балок после их усиления // Тезисы докладов 54-й научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. - К., КИСИ, 1993. - С. 139.

ЛИБ. ИМ. В. СТЕФАНЬКА  
АН УКРАЇНИ

646180

Mohamed Hayel Kasem Saleh. Strength and deformations of the continuous reinforced concrete beams after strengthening.

Dissemination is manuscript. A thesis is submitted for the degree of Doctor of philosophy (Engineering) on speciality 05.23.01 - the building constructions, the buildings and construction. Kiev State Technical University of the constructions and architecture. Kiev, 1996.

This thesis contains experimental and theoretical results of the investigations of the stress - strain conditions of the continuous reinforced concrete beams after their strengthening.

The relationships between stresses and strains were found for non-reinforced and reinforced under action of the load after unloading of the specimens.

The influence of the residual stresses and deformations on the bearing capacity and deflections of the continuous beams investigated.

Мохамед Хайель Касем Салех. Міцність та деформативність нерозрізних залізобетонних балок після підсилення. Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.23.01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди, Київський державний технічний університет будівництва та архітектури, Київ, 1996 р.

В рукопису наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень напружено-деформованого стану нерозрізних залізобетонних балок після їх підсилення. Встановлено зв'язок між напруженнями і деформаціями армованого і неармованого бетону, при одноразовом навантаженні та наступного розвантаження і навантаження. Досліджено вплив залишкових деформацій і напружень, накопичених до підсилення, на міцність і деформативність (прогини) нерозрізних балок після підсилення.

Ключові слова: нерозрізні залізобетонні балки; підсилення залізобетонних конструкцій; напружено-деформований стан; залишкові деформації; міцність перерізів.

---

Подп. к печ. 180396 Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага тип. № 1 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 10  
Услови. кр.-отт. 10 . Уч.-изд. л. 10 .  
Тираж 100 . Зак. № 6-1038.

---

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Воынская, 60.

045180

AB 34.590

**AB 34.590**