

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ
(ЦНИИпромзданий)

На правах рукописи

АЗИЗОВ Талят Нурединович

УДК 624.012.46:539.413:681.3

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ
ОПОРНЫХ ЗОН ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОДРЕЗКАМИ

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

Москва - 1990

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском и проектно-экспериментальном институте промышленных зданий и сооружений (ЦНИИпромзданий)

- Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор
А.С. ЗАЛЕСОВ
- Научный консультант - кандидат технических наук
Р.И. РАБИНОВИЧ
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор
Т.И. БАРАНОВА
кандидат технических наук
Г.А. ШИЖУНОВ
- Ведущее предприятие - ЦНИИП реконструкции городов

Защита состоится "24 апреля 1991г. в 14⁰⁰ час. на заседании специализированного Совета Д.033.17.01 при Центральном научно-исследовательском и проектно-экспериментальном институте промышленных зданий и сооружений по адресу: Москва, Дмитровское шоссе, 46: в конференц-зале (8-й этаж).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас принять участие в защите и направить ваш отзыв по адресу: 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, ЦНИИпромзданий, Специализированный Совет.

Автореферат разослан "6" марта 1991 г. № _____

Ученый секретарь специализированного Совета, д.э.н.

И.И. СТРОКИН

В настоящее время в промышленном и гражданском строительстве получают широкое применение предварительно напряженные железобетонные балочные конструкции (балки, ригели и плиты) с подрезками на опорах. Конструкция подрезки существенно изменяет работу опорных зон балок. Напряженное состояние и прочность опорных зон предварительно напряженных железобетонных балок с подрезками изучены недостаточно.

Актуальность темы определяется тем, что недостаточная изученность напряженного состояния, трещиностойкости и прочности железобетонных балочных конструкций с подрезками ограничивает их применение при больших пролетах и нагрузках. Отсутствие методики расчета по образованию трещин и прочности продольных сечений в торцах железобетонных балок от действия усилия предварительного напряжения приводит к излишнему расходу арматуры.

Целью диссертационной работы является исследование напряженно-деформированного состояния, прочности и трещиностойкости и разработка рекомендаций по проектированию опорных зон предварительно напряженных железобетонных балочных конструкций с подрезками для расширения их применения в конструкциях покрытий и перекрытий зданий.

Автор защищает следующие новые научные положения:

1. Результаты экспериментальных исследований влияния предварительного напряжения на прочность и трещиностойкость опорных зон железобетонных балочных конструкций с подрезками.
2. Результаты исследований напряженного состояния опорных зон балок с подрезками под действием различных видов нагрузок при упругой работе материалов методом конечных элементов, по теории составных стержней и методом опорных блоков.
3. Рекомендации по проектированию опорных зон предвари-

тельно напряженных железобетонных балочных конструкций с подрезками, включающие методику расчета по образованию продольных трещин и прочность продольных сечений в торцах предварительно напряженных железобетонных балок (в том числе с подрезками) при действии поперечных нагрузок и усилий предварительного напряжения и конструктивные мероприятия, позволяющие повысить трещиностойкость опорных зон этих балок.

Научная новизна работы:

- получены качественные и количественные характеристики напряженного состояния опорных зон балочных конструкций с подрезками при действии усилия предварительного обжатия и поперечных нагрузок, расположенных на разных расстояниях по длине и высоте;

- изучен механизм образования продольных трещин в предварительно напряженных железобетонных балках (в том числе с подрезками);

- установлена зависимость прочности и трещиностойкости балочных конструкций от формы сечения, относительной высоты подрезки и положения предварительно напряженной арматуры по высоте поперечного сечения.

Практическое значение работы состоит в том, что разработанные рекомендации по проектированию, включающие методики расчета и конструктивные мероприятия, позволяют снизить расход арматуры благодаря более рациональному использованию её прочностных свойств с учетом факторов, влияющих на трещиностойкость и прочность опорных зон предварительно напряженных балочных конструкций (в том числе с подрезками), а также повысить достоверность расчета конструкций.

Достоверность полученных на основе предложенной методики расчета результатов подтверждается совпадением с данными чис-

ленного и физического эксперимента.

Внедрение результатов работы. Результаты исследований учтены:

- при составлении отчета о научно-исследовательской работе ЦНИИпромзданий "Исследование прочности и трещиностойкости предварительно напряженных железобетонных балок с подрезкой для покрытий промышленных зданий" (тема М.47.13с);

- при разработке предварительно напряженной железобетонной стропильной балки с подрезками пролетом 24 м для покрытий производственных зданий;

- в приложении приведены материалы, подтверждающие, что результаты работы будут использованы при разработке балочных конструкций.

Расчетный экономический эффект от использования результатов работы в конструкциях одноэтажных и многоэтажных зданий составляет 394 тыс. руб. в год.

Основные положения диссертации доложены на всесоюзной (с международным участием) школе-семинаре молодых ученых и специалистов в области бетона и железобетона (Иваново, 1989 г.), на научно-технической конференции "Молодые ученые - сельскому строительству" (Апрелевка, 1990 г.), на XXII международной конференции молодых ученых в области бетона и железобетона (Иркутск, 1990г.), на конференции молодых ученых и специалистов (Москва, 1990г.).

Результаты исследований опубликованы в 7 печатных работах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 119 наименований, и содержит 243 страницы, в том числе 97 рисунков и 15 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Выполнен аналитический обзор конструкций с подрезками, применяемых в перекрытиях и покрытиях гражданских и промышленных зданий, а также обзор работ по расчету их прочности и трещиностойкости. Показано, что устройство подрезки на опорах повышает архитектурно-художественные качества, уменьшает высоту перекрытия и соответственно общую высоту многоэтажного здания, улучшает условия монтажа конструкций одноэтажных зданий, приводит к снижению капиталовложений и эксплуатационных затрат.

В исследованиях, проведенных в ЦНИИпромзданий, было показано преимущество балок по сравнению с фермами в покрытиях промышленных зданий, так как при этом достигается экономия на конструкциях в габарите покрытия и эксплуатационных затратах за счет уменьшения высоты покрытия. Однако область замены ферм балками при пролетах 18 и 24 м. из условия размещения оборудования в покрытии была ограничена. Применение же балок с подрезками позволит использовать их практически на всей площади зданий с такими пролетами. Кроме того применение балок с подрезками в покрытиях промышленных зданий позволяет выбрать оптимальный уклон кровли при сохранении унифицированной высоты на опор для всех пролетов свыше 18 м, что в свою очередь позволяет избежать установки вертикальных связей и устройства перепада высот кровли в смежных пролетах, отказаться от ряда монтажных мероприятий, таких как монтажная сварка, установка временных расчалок и др.

Применение балок с подрезками, в особенности предварительно напряженных, сдерживается недостаточной изученностью их напряженного состояния.

При действии усилия предварительного напряжения могут об-

разовываться продольные трещины, присудие балкам с подрезками и без них. Расчету напряженного состояния, трещиностойкости и прочности продольных сечений опорных зон железобетонных балок без подрезок на действие усилия обжатия посвящены работы Белоброва И.К., Валуевой О.И., Гвоздева А.А., Гибшмана М.Е., Гийона И., Гуденко Н.Г., Леонгардта Ф., Маньеля Г., Пахолика Л., Рыбина В.Д., Сиверса Х., Улицкого Б.Е., Христодоулидеса С. и др. Предложены различные методики расчета местных напряжений от действия усилия обжатия. Показано, что в торцах балок возникают растягивающие напряжения. При этом однако не имеется достаточных данных для расчета прочности и трещиностойкости продольных сечений при расположении усилия обжатия в различных точках по высоте сечения и длине балки, недостаточно полно объясняются причины отсутствия трещин, когда величины расчетных напряжений оказываются в несколько раз больше предела прочности бетона на растяжение.

Исследованию напряженного состояния и прочности опорных зон балок с подрезками посвящены работы Барановой Т.И., Залесова А.С., Коллинза М., Комарова В.А., Манна В., Марти П., Маттока А., Семченкова А.С., Хамоуди А., Янкевича М.А. и др. Исследованы балки с подрезками при различных соотношениях высоты подрезки к полной высоте балки, положении поперечной нагрузки на различных расстояниях от опоры. Отмечена аналогия работы балки с подрезкой с работой обычной балки на отрыв при приложении нагрузки в пределах высоты сечения. Разработаны методики расчета прочности наклонных сечений балок с подрезками. При экспериментальном исследовании опорных зон преднапряженных балок в ЦНИИЭП ТБЗ и ТК была отмечена недостаточная изученность влияния предварительного напряжения на прочность и трещиностойкость подрезки, эффективности включения горизонтальной армату-

ры в подрезке при разрушении балки с подрезкой по трещине из нижней грани.

В исследованиях Васильева П.И., Мордича А.И., Образцова Л.В., Пересыпкина Е.Н., Подлипской И.И., Полякова А.Л., Рочняка О.А., Решетарь Ю.Г., Спрыгина Г.Н., Яромича Н.Н. и др. теоретически и экспериментально установлено влияние частичного и полного устранения сцепления напрягаемой и ненапрягаемой арматуры с бетоном на прочность балок по наклонным сечениям. Отмечено, что в балках без сцепления вплоть до разрушения не образуются наклонные трещины. При этом трещиностойкость продольных сечений не рассматривалась. В НИИСКе проводились подобные исследования для балок с подрезками, однако эти исследования имели единичный характер.

Некоторыми зарубежными фирмами применяются балки с подрезками с частично устраненным сцеплением напрягаемой арматуры в опорной зоне. Влияние частичного устранения сцепления на прочность и трещиностойкость опорных зон балок с подрезками исследовано недостаточно.

На основании проведенного анализа сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Приведены результаты исследования напряженного состояния опорных зон балок с подрезками методом конечных элементов, по теории составных стержней и по методу опорных блоков. (В дальнейшем под балками с подрезками будем понимать изгибаемые конструкции с подрезками).

Методом конечных элементов проанализировано напряженное состояние более 150 моделей балок с подрезками и без них при различной относительной высоте подрезки, различной форме поперечного сечения, различных размерах и при различном положении усилия обжатия и поперечной нагрузки по высоте сечения и

длине балки. Сетка разбиения на конечные элементы была принята прямоугольной (рис. 1а). В результате расчета получены все составляющие напряжений и углы наклона главных площадок.

На основе теории составных стержней проведены исследования балок с подрезками. На рис. 1б показана расчетная схема балки, в которой нормальные напряжения в продольном сечении на уровне подрезки воспринимаются поперечными связями, а касательные напряжения - связями сдвига. Использована система дифференциальных уравнений, выведенная А.Р. Рвандриним для составной двухслойной балки с упругоподатливыми поперечными связями и связями сдвига.

В результате решения автором получены замкнутые аналитические зависимости от геометрических размеров сечения произвольной формы для величины растягивающего усилия N_{2g} (рис. 1б) в продольном сечении при действии поперечной нагрузки, а также выражения для поперечных напряжений в продольных сечениях на уровне подрезки при действии равномерно распределенной нагрузки, сосредоточенной силы в пролете и предварительного напряжения.

Применен также метод опорных блоков, подобный методу, предложенному Г. Манделем и развитому М.Е. Гиббманом для случая действия предварительного напряжения. На расстоянии от торца, равном высоте поперечного сечения балки с подрезкой, отсекается опорный блок и к нему прикладываются напряжения σ_x и τ_{xy} , вычисленные по элементарной балочной теории (рис. 1в). Затем напряжения σ_y в продольном сечении на уровне подрезки выражаются в виде полинома третьей степени и определяются с использованием уравнений равновесия и условия равенства нулю величины σ_y и её производной в конце опорного блока.

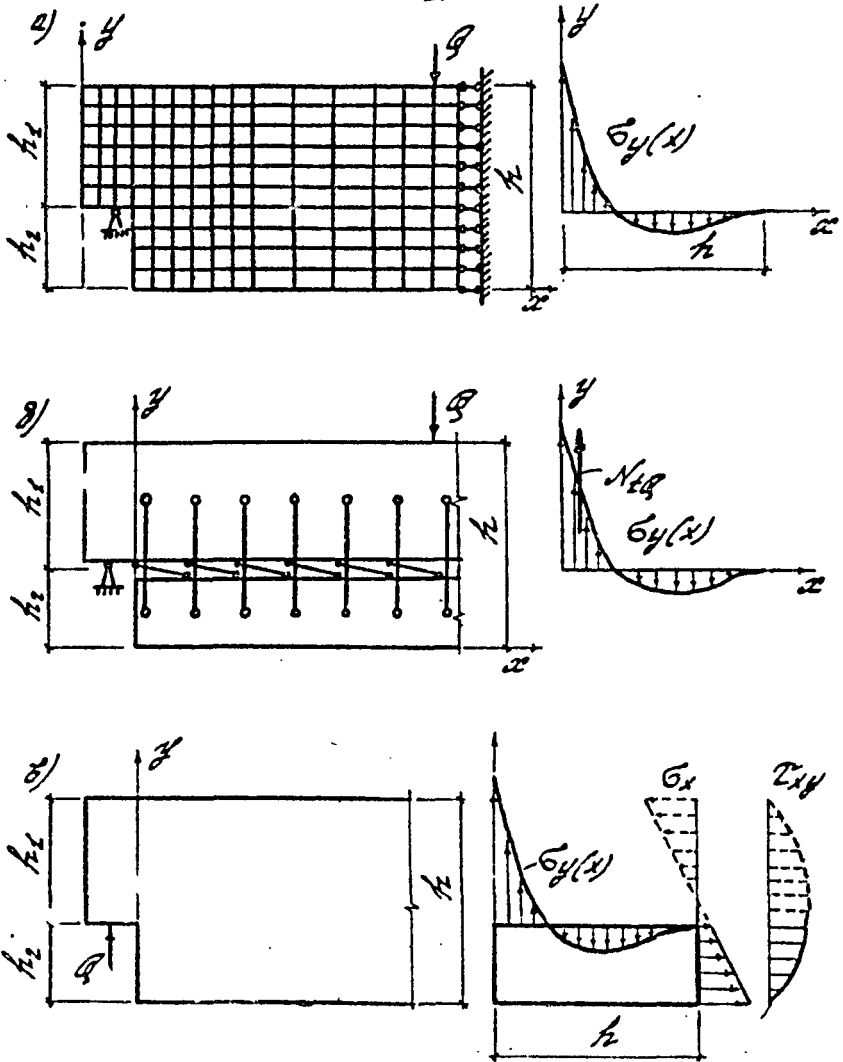


Рис.1. Расчетные схемы балок с подрезками при расчете:
 а - по методу конечных элементов;
 б - по теории составных стержней;
 в - по методу опорных блоков

При действии усилия обжатия показано, что доминирующими являются поперечные напряжения σ_y . Напряженное состояние продольных сечений опорных зон балок с подрезками и без них практически не отличается. Установлено значительное влияние положения силы обжатия по высоте балки на растягивающие напряжения в продольном сечении. Максимальные напряжения возникают, когда сила приложена к нижней грани и уменьшаются с приближением силы к нейтральной оси (рис.2а). Установлено также, что наиболее опасным является усилие обжатия, приложенное в торце балки, т.к. в этом случае в продольных сечениях балок возникают максимальные растягивающие напряжения. При удалении силы обжатия вглубь (что является моделированием частичного устранения сцепления напрягаемой арматуры) краевые растягивающие напряжения уменьшаются, зона действия растягивающих напряжений увеличивается и они распределяются более равномерно (рис.2б). При удалении силы обжатия на расстояние от торца, равное высоте сечения, краевыми растягивающими напряжениями можно пренебречь.

Наиболее важной является величина N_{ϵ_p} растягивающего усилия в продольном сечении балки, равного площади растянутой части эпюры поперечных напряжений. В диссертации установлены изменения растягивающего усилия N_{ϵ_p} по высоте балки (рис.2в) при различном положении силы обжатия, а также зависимость максимального растягивающего усилия $N_{\epsilon_p}^{max}$ в продольном сечении от положения силы обжатия по высоте балки y_p . Кроме того установлены изменения длины ℓ_{ϵ} (см.рис.2б) растянутого участка продольного сечения от положения силы обжатия по высоте сечения и по длине балки, зависимость положения y_{ϵ} (см.рис.2в) продольного сечения с максимальным растягивающим усилием $N_{\epsilon_p}^{max}$ от расположения силы обжатия по высоте балки.

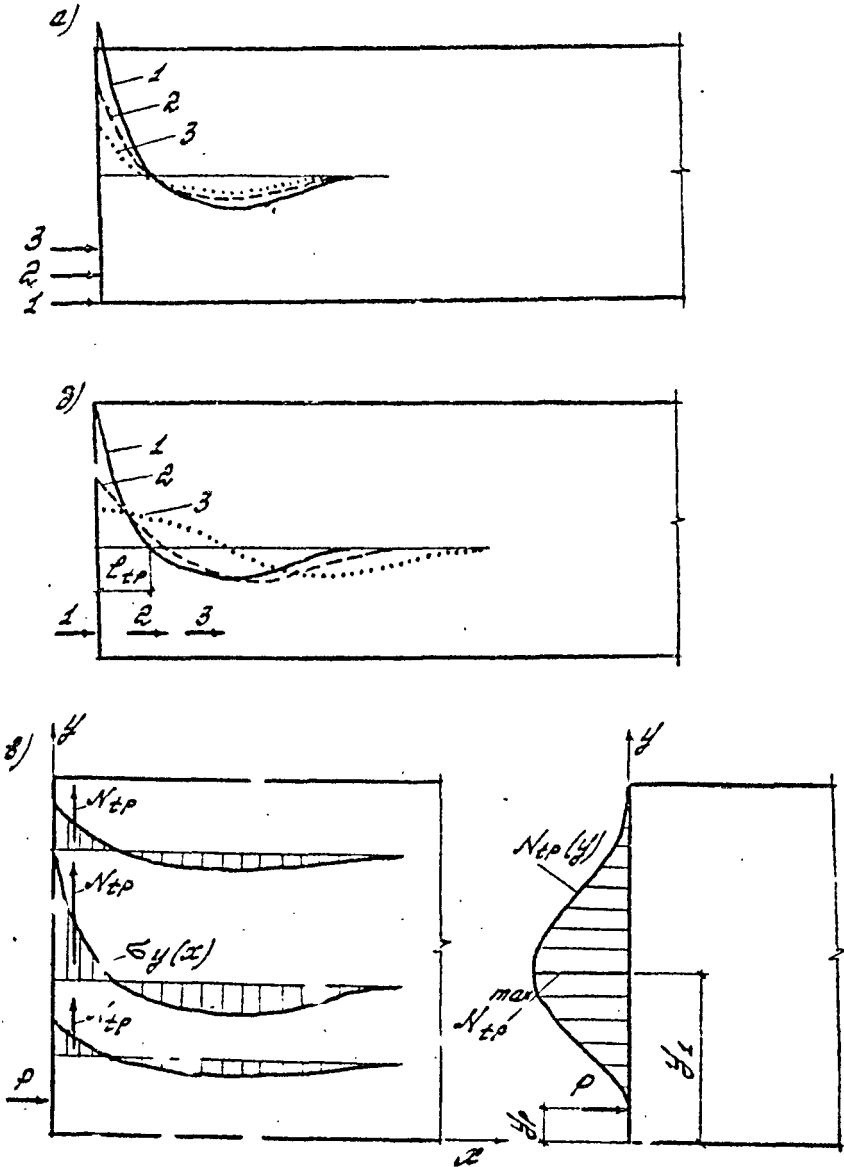


Рис.2. Изменение напряжений σ_y :
а - при различном положении силы обжатия по высоте балки;
б - при различном положении силы по длине балки;
в - в различных сечениях по высоте балки

При действии поперечной нагрузки напряжения в опорной зоне зависят от формы поперечного сечения балки и при уменьшении высоты подрезки увеличиваются. Растягивающие напряжения во входящем углу подрезки увеличиваются при смещении силы от опоры в пролет до расстояния, равного половине высоты поперечного сечения, а в дальнейшем заметного изменения краевых напряжений в продольном сечении на уровне подрезки не происходит. Построена также зависимость длины растянутого участка продольного сечения при действии поперечной нагрузки от относительной высоты подрезки.

При сравнении аналитических расчетов с численными по МКЭ установлено, что значения краевых растягивающих напряжений, полученных из численного и аналитических расчетов отличаются, однако значения растягивающих усилий N_L в продольных сечениях отличаются от данных численного расчета менее чем на 5% при любой форме поперечного сечения балки. Аналитические зависимости по теории составных стержней для величин растягивающих усилий N_L при любой форме поперечного сечения значительно проще полученных по методу опорных блоков. ими удобно пользоваться, не прибегая к ЭВМ.

В диссертации приведены результаты экспериментальных исследований 32-х подрезанных опор 17-ти образцов предварительно напряженных железобетонных балок прямоугольного сечения с подрезками. Отношение высоты подрезки к полной высоте $h_2/h = 18/30$ см, длина балок составляла 2,25 м, нагрузка прикладывалась в виде двух симметрично расположенных сосредоточенных сил. Варьировались пролет среза - от 1,7 $h_{ос}$ до 3,6 $h_{ос}$ ($h_{ос}$ - рабочая высота сечения консоли), сечение сосредоточенной у подрезки поперечной арматуры - от 0,94 до 3,14 см², горизонтальной арматуры в подрезке - от 0,94 до 2,97 см², дополнительной ненапрягаемой арматуры у

нижней грани - от 1,57 до 3,05 см², величина предварительного напряжения - от 0 до 732 МПа, длина участка напрягаемой арматуры с устраненным сцеплением с бетоном - от 0 до 28 см. Варьирование параметров производилось для получения всех возможных форм разрушения: по наклонной трещине из входящего угла подрезки, трещине из нижней части торца и нижней грани балки. Сцепление устранялось обмзкой напрягаемой арматуры слоем пластилина.

В балках с полным сцеплением напрягаемой арматуры с бетоном при определенном уровне обжатия образуются трещины раскалывания, продольные трещины во входящем углу подрезки и в нижней части торца. При устранении сцепления на расстоянии, примерно равном половине высоты поперечного сечения балки, эти трещины не образуются, а поперечные деформации в продольном сечении на уровне подрезки и в сосредоточенной у подрезки поперечной арматуре уменьшаются, причем длина растянутого участка продольного сечения увеличивается. Трещины, образовавшиеся в момент обжатия, при приложении поперечной нагрузки развиваются сначала горизонтально, затем переходят в наклонные.

При испытании поперечной нагрузкой установлено, что в балках с частично устраненным сцеплением трещины из входящего угла образуются при нагрузках в 1,1 - 2 раза больших и до нагрузки 0,6 - 0,8 от разрушающей имеют ширину раскрытия в 1,3 - 1,8 раза меньшую, чем в балках с полным сцеплением.

Разрушение образцов происходило по наклонной трещине из входящего угла подрезки, из нижней части торца и нижней грани балки. При разрушении по наклонной трещине из входящего угла подрезки во всех образцах наблюдалась текучесть сосредоточенной у подрезки поперечной арматуры и горизонтальной арматуры в подрезке. Установлено, что предварительное

напряжение не оказывает влияния на прочность по наклонным сечениям из входящего угла подрезки. Балки предварительно напряженные, ненапрягаемые и с частично устраненным сцеплением разрушались при примерно одинаковых нагрузках.

Установлено, что устранение сцепления в образцах, разрушенных по нижней зоне, снижает прочность наклонного сечения. Кроме того было выявлено, что разрушающая нагрузка оказывается наибольшей при армировании нижней зоны дополнительной ненапрягаемой арматурой с анкером в торце.

При разрушении по нижней зоне наклонные трещины пересекали горизонтальную арматуру в подрезке, и эта арматура принимала участие в работе наклонного сечения.

На основе проведенных экспериментальных, численных и аналитических исследований разработана инженерная методика расчета трещиностойкости и прочности опорных зон балок. Продольные трещины, образующиеся при обжатии, могут отрицательно влиять на работу балок при действии полезных нагрузок. Вместе с тем методика расчета по образованию продольных трещин и прочности продольных сечений балок при действии усилия предварительного напряжения в нормативных документах отсутствует, а в торцах преднапряженных балок требуется установка сосредоточенной поперечной арматуры, способной воспринять 20% усилия обжатия.

При действии нормативных нагрузок и при учете нормативных прочностных характеристик материалов не следует допускать образование продольных трещин. При действии расчетных нагрузок, отвечающих первой группе предельных состояний, при образовании продольных трещин должно быть обеспечено условие восприятия растягивающего усилия в продольном сечении поперечной арматурой, что может рассматриваться как расчет прочности продольных сечений.

Условия образования продольных трещин записываются в

виде:

при действии усилия обжатия

$$\sigma_{yp} = N_{\pm p} / (b \cdot l_{\pm p}) \leq R_{bt, ser}, \quad (1)$$

при действии поперечной нагрузки

$$\sigma_{yq} = N_{\pm q} / (b \cdot l_{\pm q}) \leq R_{bt, ser}, \quad (2)$$

при действии обоих видов нагрузок

$$\sigma_{yp} + \sigma_{yq} \leq R_{bt, ser} \quad (3)$$

где b - ширина сечения балки на рассматриваемом уровне;
 $l_{\pm p}$ и $l_{\pm q}$ - длины растянутых участков продольных сечений
 (см. рис. 26) при действии соответственно усилия обжатия и по-
 перечной нагрузки; $N_{\pm p}$ и $N_{\pm q}$ - растягивающие усилия в
 продольных сечениях при действии соответственно усилия об-
 жатия и поперечной нагрузки и определяемые по формулам

$$N_{\pm p} = \rho \cdot d_p \cdot d_y; \quad (4)$$

$$N_{\pm q} = 1,2 \cdot Q \cdot \beta, \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } y_p/h \leq 0,15 \quad d_p = 0,35 - 1,75 y_p/h \\ \text{при } y_p/h > 0,15 \quad d_p = 0,12 - 0,24 y_p/h \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } y \leq y_1 \quad d_y = (y - y_p) / (0,2h + 0,5y_p) \\ \text{при } y > y_1 \quad d_y = (h - y) / (0,8h - 1,5y_p) \end{array} \right\} \quad (7)$$

y - расстояние от нижней грани балки до рассматриваемого
 уровня; y_1 и y_p - по рис. 2в.

Коэффициент β для балок прямоугольного сечения опреде-
 ляется по выражению: $\beta = 1 - h_1/h$. (8)

Сравнение расчетных данных по образованию продольных
 трещин с экспериментальными показало их удовлетворительную
 сходимость. Погрешность расчетных данных колеблется от 14

до 36% в сторону запаса.

Прочность продольных сечений балок при действии усилия обжатия и поперечной нагрузки обеспечивается, если выполняются условия:

$$N_{\Sigma p} \leq R_{sw} \cdot A_{sw} + q_{sw} \cdot x_p, \quad (9)$$

$$N_{\Sigma q} \leq R_{sw} \cdot A_{sw}, \quad (10)$$

где $N_{\Sigma p}$ и $N_{\Sigma q}$ - соответственно определяются по формулам (4) и (5); R_{sw}, A_{sw} - расчетное сопротивление и сечение сосредоточенной поперечной арматуры; q_{sw} - усилие в хомутах на единицу длины балки; x_p - расстояние от торца балки до места приложения силы обжатия.

Следует отметить, что расчет прочности продольных сечений балок с подрезками в нормативных документах проводится по ориентировочной формуле. В диссертации для балок прямоугольного сечения получена подобная формула, но расчетным путем (формула 5). Кроме того в работе приведено выражение коэффициента β для балок, имеющих любую форму поперечного сечения.

При сравнении расчетных и экспериментальных данных по прочности продольных сечений при обжатии установлено, что при расчете по СНиП получается излишний (до 3,5 раз) запас прочности, а расчет по предлагаемой формуле (9) значительно ближе к экспериментальным данным (запас до 1,5 раз). Сравнение расчетных и экспериментальных данных прочности продольных сечений при действии поперечной нагрузки также показало удовлетворительную схожимость.

Методика расчета прочности по наклонным сечениям на действие изгибающего момента усовершенствована на основе экспериментальных исследований. Прочность по наклонным сечениям из входящего угла подрезки в отличие от требований нор-

мативных документов рекомендуется определять с учетом полного расчетного сопротивления сосредоточенной у подрезки поперечной арматуры. Влияние предварительного напряжения на прочность по наклонной трещине из входящего угла подрезки не учитывается, так как в предельной стадии происходит перераспределение усилий и суммирование растягивающих усилий в сосредоточенной поперечной арматуре от обжатия и поперечной нагрузки не происходит.

Расчет прочности по наклонным сечениям из нижней грани рекомендуется производить с учетом работы горизонтальной арматуры в подрезке. Предлагаемая методика обеспечивает лучшую сходимость с экспериментом, чем расчет по нормативным документам. При расчете по трещине из нижней грани балки в отличие от требований нормативных документов рекомендуется рассматривать ряд наклонных сечений, расположенных в зоне анкеровки, начиная с сечения, имеющего свое начало непосредственно за сосредоточенной поперечной арматурой.

В работе приводятся предложения по конструированию, обеспечивающие повышение трещиностойкости опорных зон предварительно напряженных балок и их рациональное армирование.

Эффективность предложенной методики расчета торцевых зон преднапряженных балок проверена на стропильных балках пролетом 18 м по серии Г.462.Г-3/89 и разработанных в ЦНИИпромзданий балках пролетом 24 м. В результате расчета по предложенной методике был снижен расход арматуры, воспринимавшей отрывающие усилия в продольных сечениях от действия предварительного напряжения. На основе изложенных методики расчета и рекомендаций по конструированию даны также предложения по совершенствованию разработанной в ЦНИИпромзданий стропильной балки с подрезками пролетом 24 м. Законструированная балка оказалась более экономичной по рас-

ходу арматуры и более надежной по трещиностойкости и прочности. Кроме того в результате расчета опорных зон ригелей с подрезками пролетом 9 м по серии I.020-1/87 также получена экономия арматуры при одновременном повышении надежности расчета. Суммарная экономия арматуры от внедрения предложенной в диссертации методики расчета для перечисленных видов конструкций составляет 1035 тонн в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации содержится новое решение задачи определения трещиностойкости и прочности опорных зон предварительно напряженных железобетонных балочных конструкций с подрезками, получивших широкое распространение в строительной практике. На основании проведенных исследований автором сформулированы следующие выводы:

1. В результате предварительного напряжения арматуры в продольных сечениях железобетонных балок возникают отрывающие усилия, которые при определенном уровне обжатия могут привести к образованию продольных трещин. Величина отрывающих напряжений зависит от степени предварительного напряжения, положения напрягаемой арматуры по высоте и длине балки. Частичное устранение сцепления напрягаемой арматуры с бетоном на приопорном участке позволяет предотвратить образование продольных трещин.

2. В продольных сечениях балок с подрезками при действии поперечных нагрузок возникают растягивающие напряжения, достигающие максимальных величин на уровне подрезок. Величина растягивающих напряжений зависит от положения поперечной нагрузки в пролете, соотношения высоты подрезки и полной высоты балки, геометрических характеристик сечения. Ширина раскрытия трещин при действии поперечной нагрузки в балках,

в которых не образуются трещины при обжатии, меньше ширины раскрытия аналогичных трещин в балках, в которых при обжатии образуются трещины.

3. На основе экспериментальных, численных и теоретических исследований разработана инженерная методика расчета по образованию продольных трещин и прочности на отрыв балок с подрезками при действии усилия обжатия и поперечной нагрузки. Показана возможность применения теории составных стержней к расчету балок с подрезками. Достоверность этой методики подтверждается совпадением с численными расчетами по МКЭ. Показано её преимущество по сравнению с расчетом другими методами за счет более простого определения растягивающих усилий в продольных сечениях балок и учета зависимости величин этих усилий от формы поперечного сечения и относительной высоты подрезки.

4. При расчете по образованию продольных трещин по предлагаемой методике напряжения в продольных сечениях от действия усилия обжатия и поперечной нагрузки складываются. Расчет прочности продольных сечений на отрыв с определением площади поперечной арматуры рекомендуется производить раздельно на действие усилия обжатия и поперечной нагрузки по предлагаемой методике.

5. Расчет прочности по наклонным сечениям из входящего угла подрезки рекомендуется производить с учетом полного расчетного сопротивления сосредоточенной поперечной арматуры. Предварительное напряжение не оказывает влияние на прочность по наклонным сечениям из входящего угла подрезки на действие изгибающего момента. В связи с этим в расчете прочности не учитывается влияние предварительного напряжения.

Расчет прочности по наклонным сечениям из нижней грани балки в отличие от расчета по нормативным документам реко-

мендуется производить с учетом работы горизонтальной арматуры в подрезке по предлагаемой методике. При этом должен рассматриваться ряд наклонных сечений в зоне анкеровки рабочей арматуры, начиная от оси сосредоточенной у подрезки поперечной арматуры.

6. При конструировании балок с подрезками рекомендуется частично устранять сцепление напрягаемой арматуры с бетоном на припорном участке и таким образом добиваться предотвращения образования продольных трещин при обжати.

При применении дополнительной ненапрягаемой арматуры у нижней грани балки рекомендуется устраивать ее с анкером в торце, что позволяет полностью использовать расчетные характеристики арматуры. При частичном устранении сцепления напрягаемой арматуры с бетоном в месте начала сцепления должна предусматриваться арматура, способная воспринять усилие не менее суммарного усилия предварительного напряжения в стержнях, в которых устраняется сцепление.

7. Разработанная методика расчета трещиностойкости и прочности предварительно напряженных железобетонных балок позволяет снизить расход арматуры (в том числе для балок без подрезок) за счет учета формы поперечного сечения, положения напрягаемой арматуры по высоте балки, учета работы сосредоточенной у подрезки поперечной арматуры, воспринимающей отрывающие усилия от действия предварительного напряжения, в работе наклонного сечения из входящего угла подрезки, учета работы горизонтальной арматуры в подрезке в работе наклонного сечения из нижней грани балки, повышает достоверность расчета конструкций за счет более правильного определения положения наклонных сечений из нижней грани балки. В результате появля-

ется возможность применения балок с подрезками при больших пролетах и нагрузках, что в свою очередь позволяет расширить область применения балочных конструкций в покрытиях промышленных зданий, унифицировать высоту на опоре для балок различных пролетов, выбрать оптимальный уклон кровли и облегчить монтаж.

8. Расчетный экономический эффект от внедрения методики расчета для стропильных балок пролетом 18 и 24 м, ригелей с подрезками серии I.020-I пролетом 9 м, а также стропильных балок с подрезками с учетом возможной области применения последних составляет 394 тыс. руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Азизов Т.Н. Расчет прочности железобетонных балок с подрезками. - М., 1990. - 14с. - Деп. во ВНИИТП Госстроя СССР 22.03.90, № I0643.

2. Азизов Т.Н., Рабинович Р.И. Зависимость напряженного состояния опорных зон балок с подрезками от положения предварительно напряженной арматуры по высоте сечения // Молодые ученые - сельскому строительству: Тез. докл. - Апрелевка, 1990. - с. 28-30.

3. Залесов А.С., Рабинович Р.И., Азизов Т.Н. Исследование напряженного состояния опорной зоны предварительно напряженных железобетонных балок с подрезкой численным методом. - М., 1988. - 8с. - Деп. во ВНИИС Госстроя СССР 22.12.88, № 9805.

4. Залесов А.С., Рабинович Р.И., Азизов Т.Н. Расчет железобетонных балок с подрезками по образованию наклонных трещин // Материалы XXII Международной конференции молодых ученых в области бетона и железобетона. - Иркутск, 1990. - с.25-26.

5. Рабинович Р.И., Азизов Т.Н. Влияние особенностей передачи предварительного напряжения на работу опорных зон балок с подрезками // Материалы Всесоюзной (с международным

участием) школы-семинара молодых ученых и специалистов в области бетона и железобетона. - Иваново, 1989. - с.72-73.

6. Рабинович Р.И., Азизов Т.Н. Применение теории составных стержней к расчету балок с подрезкой. - М., 1988. - 10с. - Деп. во ВНИИС Госстроя СССР 23.12.88., № 9809.

7. Рабинович Р.И., Азизов Т.Н. Расчет железобетонных балок с подрезкой приближенным методом. - М., 1989. - 8с. - Деп. во ВНИИТПИ Госстроя СССР 18.05.89., № 10110.



Подп. в печать 15.01.1991г. Л - 30

формат 60x84 1/16 Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ №23

Ротапринт ЦНИПромзданий Госстроя СССР