

## **Выводы**

1. Разработана усовершенствованная конструкция стыка, при которой вертикальное прижатие плит перекрытия передается не по всей площади опирания верхней части стены, а «точечно» – в местах размещения верхней рабочей арматуры, многократно увеличивающая вертикальное обжатие зоны анкеровки верхней рабочей арматуры плит.

2. Экспериментально получена зависимость «опорный изгибающий момент – угол поворота» в месте платформенного стыка, позволяющая производить расчет перекрытий из многопустотных плит безопасного формирования с учетом фактической схемы их деформирования.

## **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Серия Б1.041.1-5.09 Плиты железобетонные многопустотные предварительно напряженные безопасного формирования на оборудовании «Вибропресс» (Россия) для перекрытий и покрытий жилых, общественных и производственных зданий. Разраб. ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С.С.»
2. Лазовский, А.Д. Экспериментальные исследования платформенных стыков многопустотных панелей зданий индустриального изготовления / А.Д. Лазовский, Д.Н. Лазовский // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Выпуск 60: Строительство. – С. 99–102.
3. Лазовский, А.Д. Экспериментальные исследования платформенных стыков многопустотных панелей зданий индустриального изготовления / А.Д. Лазовский, Д.Н. Лазовский // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XVIII Международн. научн.-методич. семинара. – Новополоцк: Полоцкий гос.ун-т, 28–29 ноября 2012 г. – Т. 1 – 2012. – С. 10–15.
4. Лазовский, Д.Н. Влияние поперечного обжатия на прочность анкеровки арматуры / Д.Н. Лазовский, К.К. Голубев, Г.Н. Серяков // Бетон и железобетон. – 1998. – № 1. – С. 15–17.

УДК 624.012.45

**Лазовский Е.Д., Пецольт Т.М.**

## **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗОНЫ СРЕЗА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ УСТАНОВКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ**

**Введение.** Реконструкция зданий и сооружений – одно из направлений строительной отрасли. В условиях интенсивно развивающейся экономики Республики Беларусь большое внимание уделяется модернизации и техническому перевооружению существующих промышленных предприятий и гражданских объектов. Это, в ряде случаев, изменяет проектные условия эксплуатации строительных зданий и сооружений и приводит к необходимости усиления строительных конструкций. Кроме того, необходимость усиления строительных конструкций может быть вызвана неблагоприятным воздействием внешней среды и физико-геологических процессов, нарушением условий нормальной эксплуатации, ошибками на стадиях проектирования и строительства и др.

Нередко в строительной практике при реконструкции возникает необходимость в усилении изгибаемых железобетонных элементов у опор, где, кроме комбинации изгибающих моментов и продольных усилий, действуют значительные по величине поперечные усилия.

Совершенствование методов расчета усиленных строительных конструкций играет важную роль в повышении надежности и экономичности принятых решений. Перспективным направлением совершенствования методов расчета же-

железобетонных конструкций является переход от эмпирических подходов с рассмотрением комбинации из одного-двух видов внутренних усилий к физическим моделям, учитывающим полную комбинацию действующих внутренних усилий. В настоящее время активно развивается модифицированная теория полей сжатия для расчета железобетонных конструкций при совместном действии поперечного, продольного усилий и изгибающего момента, основанная на деформационной модели с использованием диаграмм деформирования бетона, продольной и поперечной арматуры.

Однако изгибаемые железобетонные элементы, усиленные в зоне среза путем установки дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры, имеют ряд особенностей деформирования и конструирования, заключающихся в наличии в железобетонных элементах при усилении начального напряженно-деформированного состояния от действия собственного веса, постоянных и временных нагрузок, различных по физико-механическим свойствам основной и дополнительной поперечной арматуры, обжатие сечения предварительно напряженной арматурой, что не учитывается в современных деформационных методах расчета зоны среза [5]. Использование таких методик в проектировании усиления строительных конструкций может приводить к перерасходу материалов или недостаточной надежности усиленных элементов.

**Предпосылки расчета и уравнения напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов, усиленных в зоне среза установкой дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры.** Для работы под нагрузкой изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза путем установки дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуры, характерны две стадии. Первая стадия – работа под нагрузкой усиливаемого элемента при его усилении, вторая стадия – работа изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза, после усиления.

Предлагаемая методика расчета усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов на первой стадии работы основывается на предпосылках, принятых для деформационной модели и модифицированной теории полей сжатия [1,3,6].

Автором для предлагаемой методики расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза, на второй стадии работы вводятся дополнительные предпосылки [3,4].

Рассмотрим поперечное сечение изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза под нагрузкой. Согласно деформационной модели для плоской задачи, поперечное сечение железобетонного элемента рассматривается как совокупность элементарных площадок-слоев и продольных арматурных стержней основного и дополнительного элементов, в пределах которых нормальные напряжения считаются равномерно распределенными, равными средним значениям. Согласно модифицированной теории полей сжатия для изгибаемых железобетонных элементов распределение касательных напряжений по высоте элементарных площадок принимается равномерным, а поперечная арматура – равномерно распределенной вдоль продольной оси элемента. Степень поперечного армирования усиливаемого изгибаемого железобетонного элемента:

- для основного элемента до его усиления

(1)

где  $A_{sv}$ ,  $s$  – соответственно площадь ( $\text{мм}^2$ ), шаг поперечной арматуры усиливаемого элемента, мм;

- для дополнительной арматуры после усиления без увеличения поперечного сечения элемента:

$$\rho_{sv,ad} = \frac{A_{sv,ad}}{bs_{ad}} \quad (2)$$

На первой стадии работы (рисунок 1) параметры напряженно-деформированного состояния усиливаемого элемента в момент времени усиления определяются из решения системы уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sigma_{cx,i} b_i h_i + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{sx,i} A_{s,i} = N; \\ & \sum_{i=1}^m \sigma_{cx,i} b_i h_i (y_{c,i} - y_0) + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{sx,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_0) = M; \\ & \sum_{i=1}^n \tau_{xy,i} b_i h_i = V; \\ & \varepsilon_{x,i} = \frac{1}{r} (y_{c,i} - y_0) + \frac{N}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i + \sum_{i=m+1}^n E'_{sx,i} A_{s,i}}; \\ & \sigma_{c1,i} = f(\varepsilon_{c1,i}); \quad \sigma_{c2,i} = f(\varepsilon_{c2,i}); \quad \sigma_{sx,i} = f(\varepsilon_{sx,i}); \quad \sigma_{sv,i} = f(\varepsilon_{sv,i}); \\ & \varepsilon_{x,i} = \varepsilon_{c2,i} \cos^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,i} \sin^2 \theta_i; \\ & \varepsilon_{y,i} = \varepsilon_{c2,i} \sin^2 \theta_i + \varepsilon_{c1,i} \cos^2 \theta_i; \\ & \sigma_{cv,i} = \sigma_{c2,i} \sin^2 \theta_i + \sigma_{c1,i} \cos^2 \theta_i + \rho_{sv,0} \sigma_{sv,i}; \\ & \tau_{xy,i} = (-\sigma_{c2,i} + \sigma_{c1,i}) \sin \theta_i \cos \theta_i; \\ & \sigma_{xi} = \sigma_{c1,i} - \tau_{xy,i} / \tan \theta_i; \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где  $\sigma_{cxi}$  – проекция на продольную ось нормальных напряжений в бетоне  $i$ -й элементарной площадки усиливаемого элемента, МПа;  $b_i$ ,  $h_i$  – соответственно ширина, высота  $i$ -й элементарной площадки бетона усиливаемого элемента, мм;  $A_{s,i}$  – площадь поперечного сечения  $i$ -го стержня продольной арматуры усиливаемого элемента, мм<sup>2</sup>;  $\sigma_{sx,i}$  – нормальные напряжения в продольной арматуре в  $i$ -м арматурном стержне усиливаемого элемента, МПа;  $N$ ,  $M$ ,  $V$  – соответственно продольное усилие (Н), изгибающий момент (Н·мм) и поперечное усилие (Н), действующие в сечении изгибаемого железобетонного элемента при усилении;  $y_{c,i}$  – расстояние от выбранной оси до центра тяжести  $i$ -й элементарной площадки бетона, мм;  $y_0$  – расстояние от выбранной оси до центра тяжести сечения усиливаемого элемента, мм;  $y_{s,i}$  – расстояние от выбранной оси до центра тяжести  $i$ -го стержня продольной арматуры, мм;  $\tau_{xy,i}$  – касательные напряжения в  $i$ -й элементарной площадке сечения усиливаемого элемента, МПа;  $\varepsilon_{x,i}$  – проекция относительных деформаций на продольную ось элемента в  $i$ -й элементарной площадке бетона, в  $i$ -м стержне продольной арматуры, мм/мм;  $1/r$  – кривизна усиливаемого элемента (1/мм):

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b_i h_i (y_{c,i} - y_0)^2 + \sum_{i=m+1}^n E'_{sx,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_0)^2} \quad (4)$$

$E'_{c,i}$ ,  $E'_{sx,i}$  – секущий модуль деформаций соответственно бетона  $i$ -й элементарной площадки,  $i$ -го стержня продольной арматуры усиливаемого элемента, МПа;  $\sigma_{c1,i}$ ,  $\sigma_{c2,i}$  – соответственно главные растягивающие, главные сжимающие напряжения в  $i$ -й элементарной площадке бетона усиливаемого элемента, МПа;  $\varepsilon_{c1,i}$ ,  $\varepsilon_{c2,i}$  – относительные деформации по направлению соответственно главных растягивающих, главных сжимающих напряжений в  $i$ -й элементарной площадке бетона усиливаемого элемента с учетом поперечной арматуры, мм/мм;  $\sigma_{sx,i}$ ,  $\sigma_{sy,i}$  – соответственно нормальные напряжения в  $i$ -м стержне продольной арматуры, нормальные напряжения в поперечной арматуре в  $i$ -й элементарной площадке бетона, МПа;  $\varepsilon_{v,i}$  – проекция относительных деформаций на поперечную ось усиливаемого элемента в  $i$ -й элементарной площадке бетона с учетом поперечной арматуры, мм/мм;  $\theta_i$  – угол наклона главных напряжений по отношению к продольной оси элемента в  $i$ -й элементарной площадке бетона усиливаемого элемента с учетом поперечной арматуры, рад;  $\sigma_{cv,i}$  – проекция нормальных напряжений в бетоне  $i$ -й элементарной площадки на поперечную ось усиливаемого элемента, МПа.

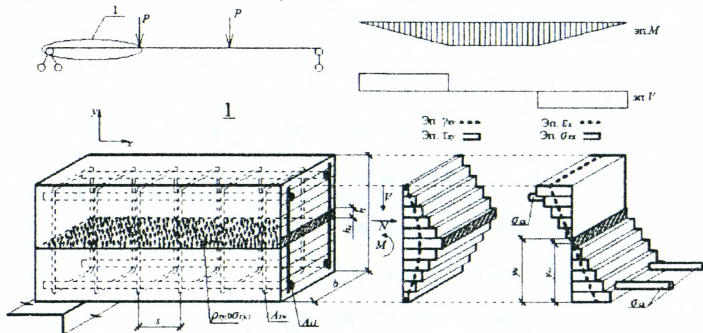


Рисунок 1 – Распределение касательных и нормальных напряжений и относительных деформаций в изгибаемом железобетонном элементе на первой стадии работы

Первые три уравнения в системе (3) являются условиями равновесия для рассматриваемого поперечного сечения в зоне среза усиливаемого элемента, четвертое уравнение описывает распределение проекций относительных деформаций на продольную ось по высоте сечения элемента в соответствии с гипотезой плоских сечений. С пятого по восьмое уравнения системы (3) – принятые аппроксимации диаграмм деформирования соответственно бетона в условиях двухосного напряженно-деформированного состояния при растяжении, сжатии, продольной и поперечной арматуры, девятое и десятое – уравнения совместности относительных деформаций для плоской  $i$ -й элементарной площадки. Три последних уравнения в системе (3) являются уравнениями равновесия для  $i$ -й элементарной площадки в поперечном и продольном направлениях в соответствии с модифицированной теорией полей сжатия.

При этом расчет параметров напряженно-деформированного состояния изгибаемого железобетонного элемента в зоне среза на первой стадии его работы выполняется от действия комбинации внутренних усилий ( $N$ ,  $M$ ,  $V$ ), вызванных внешней нагрузкой в момент усиления. Решение системы уравнений (3.5) позволяет получить распределение относительных деформаций растяжения-сжатия и сдвиговых деформаций, а также нормальных и касательных напряжений по высоте поперечного сечения элемента от действия внутренних усилий при усилении.

В случае усиления изгибаемого железобетонного элемента путем установки дополнительной поперечной арматуры с ее предварительным напряжением, между первой и второй стадиями работы вводится дополнительная стадия, на которой параметры напряженно-деформированного состояния сечения изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза, определяются воздействием комбинации внутренних усилий от внешней нагрузки в момент усиления и усилием обжатия дополнительной предварительно напряженной поперечной арматурой.

Поскольку усилие обжатия, согласно существующей практике, передается на усиливаемый элемент через жесткие стальные распределительные пластины, а предварительное напряжение во всех стержнях дополнительной поперечной арматуры, как правило, имеет одинаковое значение, то можно допустить гипотезу о равномерности распределения вертикальных напряжений обжатия по длине усиленной зоны среза изгибаемого железобетонного элемента.

Тогда уравнения совместности относительных деформаций и уравнения равновесия в  $i$ -й элементарной площадке рассматриваемого сечения изгибаемого железобетонного элемента, усиленного дополнительной предварительно напряженной поперечной арматурой, имеет следующий вид:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{sv,p} \\ \varepsilon_{yp,i} \end{array} \right\} \quad (5)$$

где  $\sigma_{sv,p}$  – предварительное напряжение в дополнительной поперечной арматуре усиленного элемента, МПа;  $\varepsilon_{yp,i}$  – проекция относительных деформаций в  $i$ -й элементарной площадке бетона с учетом относительных деформаций от действия усилия обжатия зоны среза дополнительной предварительно напряженной арматурой на поперечную ось, мм/мм;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\varepsilon_{yp,ad}$  – относительные деформации в дополнительной поперечной арматуре, соответствующие ее предварительному напряжению, мм/мм;  $\varepsilon_{xp,i}$  – проекция относительных деформаций в  $i$ -й элементарной площадке бетона на продольную ось или относительные деформации в  $i$ -м стержне продольной арматуры усиленного дополнительной предварительно напряженной поперечной арматурой в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента, мм/мм;  $E_{c,red}$  – приведенный модуль деформаций элемента в поперечном направлении (МПа), вычисляемый по формуле

$$E_{c,red} = \frac{E_c (bs - A_{sv}) + E_{sv} A_{sv}}{bs}, \quad (6)$$

где  $E_c$ ,  $E_{sv}$  – соответственно модули деформаций бетона, стали поперечной арматуры изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза, МПа.

Система уравнений для напряженно-деформированного состояния поперечного сечения изгибаемого железобетонного элемента после усиления только дополнительной предварительно напряженной поперечной арматурой в зоне среза на второй стадии приобретает следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^m \sigma_{c,i} b h_i + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{s,i} A_{s,i} = N + \Delta N; \\
 & \sum_{i=1}^m \sigma_{c,i} b h_i (y_{c,i} - y_{0,al}) + \sum_{i=m+1}^n \sigma_{s,i} A_{s,i} (y_{s,i} - y_{0,al}) = M + \Delta M; \\
 & \sum_{i=1}^n (\tau_{sp,i} + \tau_{sv,al,i}) b h_i = V + \Delta V; \\
 & \varepsilon_{s,i} = \varepsilon_{sp,i} + \varepsilon_{sv,al,i}; \quad \varepsilon_{y,i} = \varepsilon_{sp,i} + \varepsilon_{y,al,i}; \\
 & \varepsilon_{sv,al} = \varepsilon_{sv,al} + \sum_{i=1}^m \varepsilon_{sv,al,i}; \\
 & \varepsilon_{s,al,i} = \frac{1}{r_{al}} (y_{c,i} - y_{0,al}) + \frac{\Delta N}{\sum_{i=1}^m E'_{c,i} b h_i + \sum_{i=m+1}^n E'_{s,i} A_{s,i}}; \\
 & \sigma_{c,i} = f(\varepsilon_{c,i}); \quad \sigma_{c,2,i} = f(\varepsilon_{c,2,i}); \quad \sigma_{s,i} = f(\varepsilon_{s,i}); \quad \sigma_{sv,i} = f(\varepsilon_{sv,i}); \quad \sigma_{sp,al} = f(\varepsilon_{sp,al}); \\
 & \varepsilon_{c,i} = \varepsilon_{c,2,i} \cdot \cos^2 \theta_i + \varepsilon_{c,1,i} \cdot \sin^2 \theta_i; \quad \varepsilon_{y,i} = \varepsilon_{c,2,i} \cdot \sin^2 \theta_i + \varepsilon_{c,1,i} \cdot \cos^2 \theta_i; \\
 & \varepsilon_{sv,al,i} = \varepsilon_{c,2,al,i} \cdot \cos^2 \theta_i + \varepsilon_{c,1,al,i} \cdot \sin^2 \theta_i; \quad \varepsilon_{y,al,i} = \varepsilon_{c,2,al,i} \cdot \sin^2 \theta_i + \varepsilon_{c,1,al,i} \cdot \cos^2 \theta_i; \\
 & \sigma_{sv,al,i} = \sigma_{c,2,al,i} \sin^2 \theta_i + \sigma_{c,1,al,i} \cos^2 \theta_i + \rho_{sv,0} \sigma_{sv,al} + \rho_{sv,al} \sigma_{sp,al}; \\
 & \tau_{sv,al,i} = (-\sigma_{c,2,al,i} + \sigma_{c,1,al,i}) \cdot \sin \theta_i \cos \theta_i; \\
 & \sigma_{c,i} = \sigma_{c,1,i} - (\tau_{sp,i} + \tau_{sv,al,i}) / \tan \theta_i;
 \end{aligned} \right. \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{sv,al}$ ,  $\sigma_{sv,al}$  — соответственно относительные деформации (мм/мм), напряжения в дополнительной предварительно напряженной поперечной арматуре, МПа.

Последовательно увеличивая внутренние усилия в их комбинации, действующей в расчетном сечении, устанавливают значение, соответствующее образованию трещин в бетоне зоны среза. Нагрузка, при которой относительные деформации  $\varepsilon_{c1}$  по направлению главных растягивающих напряжений в бетоне достигают значения, соответствующего прочности бетона при растяжении по принятой диаграмме деформирования хотя бы в одной элементарной площадке основного или дополнительного бетона, соответствует началу образования трещин.

Прочность усиленного в зоне среза изгибаемого железобетонного элемента определяется методом последовательных нагружений [2]. Максимальное значение комбинации внутренних усилий от действующей нагрузки, при котором выполняются все условия системы уравнений (7) соответствует прочности в рассматриваемом сечении изгибаемого железобетонного элемента, усиленного в зоне среза. Для определения наиболее опасного сечения в зоне среза, рассматриваются несколько сечений по длине зоны среза с различной комбинацией действующих внутренних усилий  $M$ ,  $N$ ,  $V$ .

**Заключение.** Разработана новая методика расчета прочности и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза при действии полной комбинации внутренних усилий для плоского напряженного

состояния. Предлагаемая методика позволяет учесть начальное напряженно-деформированное состояние усиливаемых в зоне среза элементов, эффект предварительного напряжения дополнительной поперечной арматуры, различные физико-механические и геометрические характеристики усиливаемой и усиливающей частей элемента.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Vecchio, F.J. Analysis based on the Modified Compression Field Theory / F.J. Vecchio // IABSE Colloq. On Structural Concrete. – Report, v. 62. – Stuttgart, 1991. – P. 321-326.
2. Глухов, Д.О. Применение мягких вычислений для сглаживающей аппроксимации сложных сингулярных зависимостей / Д.О. Глухов, Е.Д. Лазовский, Т.М. Глухова, Г.А. Самошенко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2012. – №12. – С. 2-5.
3. Лазовский, Е.Д. Предпосылки, методика и программа для расчета напряженно-деформированного состояния усиленных в зоне среза изгибаемых железобетонных элементов / Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2013. – №16. – С. 33-39.
4. Пецольд, Т.М. Методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, усиленных в зоне среза / Т.М. Пецольд, Е.Д. Лазовский, Д.О. Глухов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – №16. – С. 40-45.
5. Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. Усиление железобетонных конструкций/Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 1998. – 189 с.
6. Тур, В.В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил : Монография /В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест.: БрГТУ, 2000. – 397 с.

УДК 624.011

*Леуцк Е.В.*

### **ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИНТОВ В СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

При проектировании деревянных конструкций одной из наиболее сложных задач является решение вопросов, связанных с конструированием и расчетом узловых соединений. Особенно актуальной эта проблема становится при проектировании деревянных ферм, рам, решетчатых арок. Конструктивное решение узловых соединений элементов деревянных конструкций в основном зависит от величины действующих в этих элементах усилий.

В странах СНГ большинство узловых соединений элементов деревянных конструкций выполняется с использованием механических связей в виде нагелей, вклеенных арматурных стержней, гвоздей. Вместе с тем в зарубежной практике при проектировании деревянных конструкций очень широко используются такие механические связи, как винты, которые в узловых соединениях в основном работают на восприятие растягивающих и сжимающих усилий.

Номенклатура используемых в соединениях деревянных конструкций винтов и области применения приведены на рисунке 1.

Наиболее широкое распространение винты получили в качестве элементов соединения при повышении несущей способности опорных участков деревянных конструкций и усилении элементов в зонах концентрации напряжений (рис. 2).

Кроме того, современные винты позволяют выполнять соединения элементов как из цельной, так и из клееной древесины. Высокая прочность материала винтов дает возможность соединять элементы, в которых имеет место действие значительных усилий, т.е. конструировать узлы большепролетных конструкций по аналогии с вклеенными стержнями. Как известно, соединения на вклеенных