

2. Чихладзе Э.Д. Сопротивление материалов. – Харьков: УкрГАЗТ, 2002. – 362 с.
3. Клименко Ф.Е., Барабаш В.М. Листовая арматура периодического профиля для железобетонных конструкций с внешним армированием // Бетон и железобетон. – 1999. – №7. – С.19-22.
4. Smith F., Brown R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington, №106, 2001, p.205.
5. Garner N.I. Use of Spiral Welded Steel Tubes in Pipe Columns. ACI. J. Proceedings, vol. 65, Nov. 2003, p.937-942.

*Получено 14.01.2008*

УДК 624.012.45

М.Ю.ИЗБАШ, канд. техн. наук

*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

### **СНИЖЕНИЕ РАСХОДА НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ В ЛОКАЛЬНО ОБЖАТЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Обосновывается возможность уменьшения металлоемкости локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов.

Деформационное упрочнение арматуры – эффективный путь снижения металлоемкости железобетонных конструкций.

Упрочнение напрягаемой арматуры А500С [1] вытяжкой в настоящей работе предлагается как технологически простой путь уменьшения ее расхода в локально предварительно напряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементах.

Благодаря данному деформационному упрочнению величина нормативного сопротивления арматуры, например, класса А-III согласно [2] возрастает от  $R_{sn} = 390$  МПа до  $R_{sn} = 540$  МПа для упрочненной арматуры класса А-IIIв. Указанное позволяло применять ее в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

Упрочнение арматуры проводилось на предприятиях стройиндустрии, где с ее использованием изготавливались предварительно напряженные сборные железобетонные конструкции. Оно выполнялось с помощью специального оборудования.

В монолитных железобетонных и в сталежелезобетонных конструкциях упрочненная вытяжкой арматура класса А-IIIв ввиду отсутствия указанного оборудования у строительного-монтажных организаций не применялась.

Способ локального предварительного напряжения [3] открыл возможность обжатия вручную сталежелезобетонных изгибаемых элементов (рис.1).

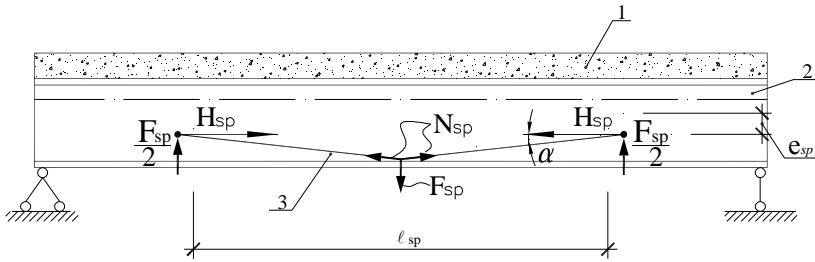


Рис.1 – Воздействия на сталежелезобетонную балку при ее локальном обжатии:  
1 – железобетонная плита; 2 – стальной двутавр; 3 – напрягаемая арматура.

Ввиду малости угла оттягивания арматуры  $\alpha$  сила оттягивания  $F_{sp}$  почти на порядок меньше создаваемого ею усилия натяжения арматуры  $N_{sp}$ , что и позволяет осуществлять натяжение арматуры до высоких значений  $N_{sp}$  с помощью ручного винтового домкрата (рис.2), в том числе и до достижения в арматуре напряжений  $\sigma_{sp}$ , превышающих предел текучести  $\sigma_{спт}$ .

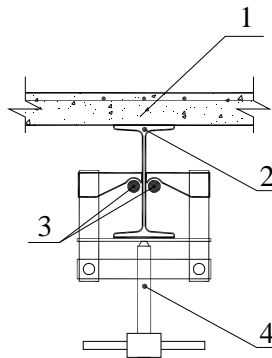


Рис.2 – Локальное предварительное напряжение сталежелезобетонного изгибаемого элемента:  
1 – железобетонная плита; 2 – стальной двутавр; 3 – напрягаемая арматура;  
4 – ручной винтовой домкрат.

Таким образом, представилось возможным перед локальным предварительным напряжением сталежелезобетонных конструкций осуществлять упрочнение арматуры класса А500С вытяжкой непосредственно в конструкции. В проведенных в ХГТУСА экспериментальных исследованиях достаточно представительного количества образцов арматурной стали класса А500С с упрочнением до  $\delta_{\text{выт}} = 3\%$

было получено [4], что средняя величина условного предела текучести  $\sigma_{0,2cp} = 620,33 \text{ Н/мм}^2$ ,  $E_{cp} = 178863,2 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\sigma_{в cp} = 678,9 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\delta_{\max cp} = 5,99\%$ ,  $\delta_{p cp} = 6,53\%$ ,  $\delta_5 cp = 17,7\%$ .

Все изложенное выше свидетельствует о возможности и целесообразности деформационного упрочнения стрежневой арматуры серповидного профиля класса А500С с вытяжкой до контролируемого удлинения 3%. Выполнение упрочнения и локального предварительного напряжения предлагается осуществлять в едином трехэтапном технологическом процессе.

Первым этапом является натяжение арматуры оттягиванием с помощью приложения поперечной нагрузки, создаваемой ручным винтовым домкратом (рис.2) до достижения заданной величины стрелки оттягивания  $f_{sp1}$  (рис.3), при которой значение напряжения в арматуре достигает величины  $\sigma_{sp}$ , большей предела текучести  $\sigma_{спт}$ .

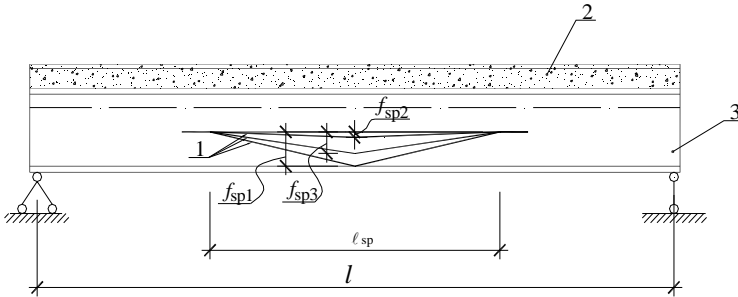


Рис.3 – Локальное предварительное напряжение сталежелезобетонной балки с одновременным упрочнением напрягаемой внешней арматуры непосредственно в конструкции

Положение напрягаемой внешней арматуры:  $f_{sp1}$  – максимальное оттягивание;  $f_{sp2}$  – после разгрузки;  $f_{sp3}$  – локальное предварительное напряжение.

Суммарная длина двух наклонных участков  $l_{sp1}$  продеформированной напрягаемой арматуры составит

$$l_{sp1} = l_{sp} (1 + \varepsilon_{sp1}), \quad (1)$$

где  $l_{sp}$  – суммарная начальная длина двух наклонных участков напрягаемой арматуры – расстояние между местами приварки арматурных стержней;  $\varepsilon_{sp1}$  – относительная деформация арматуры, соответствующая напряжению в ней  $\sigma_{sp1}$ , создаваемому в результате выполнения вытяжки для достижения последующего упрочнения.

При натяжении, как показано на рис.3, на участке, который на диаграмме « $\sigma_{sp} - \varepsilon_{sp}$ » (рис.4) относится к зоне упругого деформирования, имеет место равенство

$$\frac{\sigma_{sp}}{\varepsilon_{sp}} = E_{sp} (\operatorname{tg} \beta), \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол наклона участка диаграммы « $\sigma_{sp}-\varepsilon_{sp}$ » в зоне упругих деформаций.

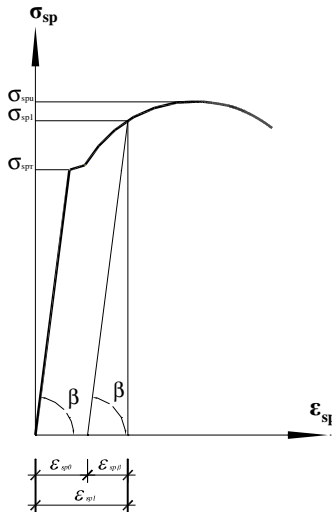


Рис.4 – Сущность процесса упрочнения напрягаемой арматуры класса А500С:  
 $\varepsilon_{sp1}$  – деформация вытяжки;  $\varepsilon_{sp0}$  – остаточная деформация после разгрузки;  
 $\sigma_{spy}$  – площадка текучести.

При этом

$$\varepsilon_{sp}\beta = \varepsilon_{sp1} - \varepsilon_{sp0}. \quad (3)$$

На первой стадии процесса упрочнения напряжение в арматуре доводится до величины

$$\sigma_{sp1} = \frac{\sigma_{spu}}{K}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{spu}$  – временное сопротивление арматуры;  $K = 1,05$  – коэффициент безопасности.

Далее проводится разгрузка до величины напряжения  $\sigma_{sp} = 0$ .

Как видно на рис.4, диаграмма деформирования при разгрузке будет иметь тот же угол наклона  $\beta$ , что и на участке упругого деформирования при нагружении.

Деформация, соответствующая по диаграмме « $\sigma_{sp}$ - $\varepsilon_{sp}$ » напряжению вытяжки  $\sigma_{sp1}$ , имеет величину  $\varepsilon_{sp1}$  (рис.4), которая составляет

$$\varepsilon_{sp1} = \varepsilon_{spo} + \varepsilon_{sp\beta}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{spo}$  – остаточная деформация, после которой начинается работа упрочненной арматуры под нагрузкой;  $\varepsilon_{sp\beta}$  – участок деформирования уже упрочненной арматуры, представленный на диаграмме « $\sigma_{sp}$ - $\varepsilon_{sp}$ ».

Новым началом координат для диаграммы деформирования уже упрочненной арматуры становятся  $\sigma_{sp} = 0$  и  $\varepsilon_{sp} = \varepsilon_{spo}$  в первоначальной системе координат « $\sigma_{sp}$ - $\varepsilon_{sp}$ ».

Величина модуля деформаций упрочненной арматуры  $E_{sp\beta}$  меньше, чем в начальном состоянии  $E_{sp}$ . Например, у арматуры класса А-III [2] значение модуля деформаций  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа, у упрочненной вытяжкой класса А-IIIв  $E_{sp\beta} = 1,8 \cdot 10^5$  МПа [2], для арматуры класса А500С после упрочнения вытяжкой можно принять  $E_{sp\beta} = 1,7 \cdot 10^5$  МПа.

При оттягивании арматуры до величины стрелки  $f_{sp1}$  (рис.3) значение усилия натяжения в наклонных участках напрягаемой арматуры должно составлять

$$N_{sp1} = \sigma_{sp1} A_{sp}, \quad (6)$$

где  $A_{sp}$  – площадь сечения напрягаемой арматуры.

В случае оттягивания арматуры силой  $F_{sp1}$ , приложенной в середине длины  $l_{sp}$ , имеет место соотношение

$$F_{sp1} = 2N_{sp1} \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – угол наклона оттянутых участков напрягаемой арматуры к горизонтальной линии, соединяющей места приварки концов арматурных стержней.

Величина стрелки оттягивания определяется по зависимости

$$f_{sp1} = \sqrt{\frac{l_{sp1}^2}{4} - \frac{l_{sp}^2}{4}}, \quad (8)$$

где  $l_{sp1}$  является величиной, определяемой по (1).

Учитывая (1),

$$f_{sp1} = l_{sp} \sqrt{\frac{\varepsilon_{sp1}}{2}}, \quad (9)$$

$$\sin \alpha = \frac{2f_{sp1}}{l_{sp1}}. \quad (10)$$

Исходя из (1) и (10),

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{2\varepsilon_{sp1}}}{1 + \varepsilon_{sp1}}. \quad (11)$$

Вторым этапом процесса упрочнения является разгрузка арматуры, т.е. доведение величины напряжения в ней до  $\sigma_{sp} = 0$  (рис.3). Однако при этом будут иметь место остаточная деформация напрягаемой арматуры  $\varepsilon_{sp0}$  (так как величина  $\sigma_{sp1}$  больше предела текучести  $\sigma_{spy}$ ) и стрелка  $f_{sp2}$ . Длина напрягаемой арматуры после разгрузки

$$l_{sp2} = l_{sp} (1 + \varepsilon_{sp0}). \quad (12)$$

Ввиду того, что после разгрузки длина арматуры увеличивается по сравнению с первоначальной, возникает провис с величиной стрелки  $f_{sp2}$  в середине длины. Величина стрелки может быть определена по зависимости

$$f_{sp2} = l_{sp} \sqrt{\frac{\varepsilon_{sp0}}{2}}. \quad (13)$$

Для создания задаваемого предварительного напряжения  $\sigma_{sp3}$  и усилия натяжения  $N_{sp3}$  необходимо увеличить возникшую после разгрузки стрелку  $f_{sp2}$  до величины стрелки оттягивания  $f_{sp3}$  (рис.1).

Длина наклонного участка арматуры после данной операции

$$l_{sp3} = \sqrt{f_{sp3}^2 + \frac{l_{sp}^2}{4}}. \quad (14)$$

Требуемые величины усилия натяжения напрягаемой арматуры должны составить

$$N_{sp3} = \frac{l_{sp3} - l_{sp2}}{l_{sp2}} E_{sp\beta} A_{sp}, \quad (15)$$

соответственно напряжения

$$\sigma_{sp3} = N_{sp3} / A_{sp}, \quad (16)$$

деформации

$$\varepsilon_{sp3} = \frac{\sigma_{sp3}}{E_{sp\beta}}. \quad (17)$$

Подстановка выражения для  $l_{sp3}$  (14) в (15) позволяет получить зависимость для определения значения  $f_{sp3}$ , при котором достигаются заданные значения усилия натяжения  $N_{sp3}$ , напряжения  $\sigma_{sp3}$  и деформации  $\varepsilon_{sp3}$ .

С учетом (14)-(17) имеем:

$$\varepsilon_{sp3} = \frac{\sqrt{f_{sp3}^2 + \frac{l_{sp}^2}{4} - \frac{l_{sp}}{2}(1 + \varepsilon_{spo})}}{\frac{l_{sp}}{2}(1 + \varepsilon_{spo})}. \quad (18)$$

Из (18) следует, что требуемая величина стрелки оттягивания при условии пренебрежения произведениями значений деформаций должна составить

$$f_{sp3} = l_{sp} \sqrt{\frac{\varepsilon_{sp3} + \varepsilon_{spo}}{2}}. \quad (19)$$

Значение  $f_{sp3}$  подсчитывается по зависимости (19) в соответствии с величиной требуемого контролируемого предварительного напряжения  $\sigma_{sp3}$ , деформации  $\varepsilon_{sp3}$ , натяжения  $N_{sp3}$ . При этом длина наклонного участка арматуры после натяжения составит

$$\frac{l_{sp3}}{2} = \frac{l_{sp}}{2} (1 + \varepsilon_{sp0} + \varepsilon_{sp3}). \quad (20)$$

Чтобы создать натяжение арматуры  $N_{sp3}$ , необходимо достигнуть значения стрелки оттягивания  $f_{sp3}$ , отсчитываемой от горизонтальной прямой, соединяющей точки крепления концов арматуры.

Величина силы оттягивания, которую необходимо приложить к арматуре в середине длины  $l_{sp}$ , чтобы создать натяжение  $N_{sp3}$ , определяется из условия равновесия

$$F_{sp3} = 2N_{sp3} \sin \alpha = 4 \frac{N_{sp3}}{l_{sp3}} f_{sp3}. \quad (21)$$

Усилие локального обжатия

$$H_{sp3} = N_{sp3} \cos \alpha, \quad (22)$$

где

$$\cos \alpha = \frac{1}{1 + \varepsilon_{sp0} + \varepsilon_{sp3}}. \quad (23)$$

Все приведенные выше полученные зависимости справедливы для локально предварительно напряженных сталежелезобетонных балочных конструкций [3], обжатие которых осуществляется оттягиванием внешней арматуры повышенной прочности класса А500С, приваренной с двух сторон стенки двутавровой стальной балки. Оттянутое положение арматуры фиксируется приваркой к стенке двух упоров, после чего ручной винтовой домкрат, с помощью которого выполнялось оттягивание арматуры, удаляется. Сила  $F_{sp}$  через упор выгибает балку на участке  $l_{sp}$ . Так как при упрочнении величины  $F_{sp}$  и  $H_{sp}$  существенно больше, чем при локальном предварительном напряжении, в будущих сжатых зонах сталежелезобетонных балок перекрытий могут возникнуть трещины. Указанное следует проверить расчетом и в случае необходимости предотвращения в момент упрочнения появления трещин в железобетонных полках балки следует временно соответствующим образом пригрузить.

Необходимо также отметить, что величина стрелки оттягивания  $f_{sp1}$  при упрочнении в сталежелезобетонных конструкциях не может быть больше расстояния между низом ее крепления к стенке двутавра и верхом его нижней полки. Исходя из данного условия назначаются места крепления напрягаемой арматуры к стенке стальной балки.

Поскольку для усиления эксплуатируемых сталежелезобетонных перекрытий и при проектировании новых предлагается применять свариваемую арматуру класса А500С, нормативное сопротивление которой в два раза выше, чем у стального прокатного двутавра, достигается снижение расхода металла.

Из изложенного выше следует, что эффект может быть большим при применении предлагаемого упрочнения арматуры класса А500С вытяжкой непосредственно в конструкции перед ее локальным обжатием.

1.Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – К.: Госстрой Украины, 2002. – 39 с.

2.СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 79 с.

3.Шагин А.Л., Избаш М.Ю., Шемет Р.Н., Богданов А.Н. Несущая способность локально предварительно напряженных изгибаемых элементов // Науковий вісник будівництва. Вип.32. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2005. – С.49-61.



4.Шагин А.Л., Фомин С.Л., Бутенко А.А., Эль Мутассим Ларби. Деформационное упрочнение арматурной стали класса А500С // Науковий вісник будівництва. Вип.10. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2000. – С.61-67.

*Получено 12.03.2008*

УДК 666.81.84

М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук, К.А.РАПИНА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **МОНОЛИТНЫЕ САМОНИВЕЛИРУЮЩИЕСЯ СТЯЖКИ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ**

Рассматриваются перспективы расширения применения гипсовых вяжущих при устройстве стяжек полов. При этом установлено, что использование гипсовых сухих строительных смесей для устройства самонивелирующихся стяжек наиболее актуально и прогрессивно в условиях современной строительной индустрии. Однако их высокое качество преимущественно объясняется наличием в составе большого количества импортных функциональных добавок, что не способствует массовому производству таких смесей отечественными предприятиями.

Обеспечение строительства эффективными, ресурсосберегающими, экологически чистыми материалами и изделиями, изготавливаемыми по малозатратным, безотходным технологиям с максимальным использованием местного сырья и техногенных отходов, – главная задача промышленности строительных материалов в настоящее время.

Один из путей успешного решения этой задачи – расширение применения в строительстве гипсовых материалов и изделий. Объясняется это их легкостью, малой тепло- и звукопроводностью, огнестойкостью, высокой декоративностью, комфортностью и экологичностью, а также высокой эффективностью, в частности, несложностью переработки сырья в вяжущие вещества с незначительным расходом топлива и энергии (соответственно в 4 и 5 раз меньше, чем при производстве портландцемента) [1-3].

Особо актуальным является нахождение новых путей устройства гипсовых стяжек под полы, потребность в которых при значительных объемах строительства постоянно растет [4-7]. Смеси на гипсовых вяжущих обладают рядом преимуществ перед цементными. В частности, они быстро твердеют, что позволяет ходить по стяжкам уже через 1-2 ч после схватывания. Применение соответствующих добавок позволяет регулировать сроки схватывания и жизнеспособность смесей в широких пределах, что обеспечивает высокую растекаемость и саморазравнивание стяжек. Гипсовые стяжки практически не дают усадки, имеют высокую трещиностойкость [4, 8].