

Дещо нижчі статистичні показники ( $r = 0,9994$ ;  $v = 0,0017$ ) має лінійна функція

$$\rho_{d,s} = a + b \cdot (\Delta h / h_0), \quad (2)$$

де  $a = 1,565 \text{ г/см}^3$  і  $b = 0,0186 \text{ г/см}^3$  – емпіричні коефіцієнти;  $h_0 = 1,0 \text{ мм}$ .

Можливе також застосування логарифмічної функції ( $r = 0,984$ ;  $v = 0,0086$ )

$$\rho_{d,s} = a + b \cdot \ln(\Delta h / h_0), \quad (3)$$

де  $a = 1,249 \text{ г/см}^3$  і  $b = 0,222 \text{ г/см}^3$  – емпіричні коефіцієнти;  $h_0 = 1,0 \text{ мм}$ .

Величина  $\Delta h$  в усіх виразах при цьому виміряється в міліметрах.

Отже, доведена можливість визначення моделюванням досить достовірних величин наведених характеристик ущільнених укочуванням сумішей відходів гірничозбагачувального виробництва з глинистими ґрунтами. Тобто, маючи вихідні параметри шару суміші ( $h$ ,  $\rho_{d,0}$ ) і задаючись величиною  $\Delta h$ , отримуємо значення щільності сухого ґрунту в ущільненому шарі ( $\rho_{d,s}$ ).

1.Хазанов М.И. Искусственные грунты, их образование и свойства. – М.: Наука, 1975. – 135 с.

2.Єрмакова І.А. Польові дослідження динамічного ущільнення ґрунтів і ґрунтових сумішей // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 14. – Полтава: ПНТУ, 2004. – С. 69-73.

3.Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 237 с.

4.Винников Ю.Л., Коваленко В.І., Єрмакова І.А. Визначення наведених параметрів штучних основ з укочуванням ґрунту шляхом математичного моделювання // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.53. – К.: Техніка, 2003. – С.302-309.

*Отримано 21.03.2005*

УДК 624.012.46

С.В.БУТЕНКО, А.Ф.ПУГАЧЕВ, кандидаты техн. наук

*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ**

Предлагаются критерии и методика оценки эффективности применения классов

арматурной стали, выпускаемых заводами Украины, для локального предварительного напряжения при изготовлении и усилении конструкций.

Усиление с применением предварительно напряженных шпренгелей в настоящее время достаточно широко применяется при реконструкции различных зданий и сооружений [1]. Одной из разновидностей этого способа усиления является локальное предварительное напряжение (или внутреннее шпренгельное подкрепление) конструкций путем принудительного поперечного смещения и последующей фиксации напрягаемой арматуры [2].

Можно выделить три принципиально возможные схемы создания локального предварительного напряжения (ЛПН). Наиболее простой и технологичной в реализации является схема, которую можно назвать “жесткой” – концы напрягаемого горизонтального арматурного стержня при этом либо привариваются к стенкам стальных балок в опорных зонах, либо бетонируются в опорных зонах при изготовлении железобетонных конструкций. Локальное предварительное напряжение обычно осуществляется поперечным принудительным смещением горизонтальных натянутых арматурных стержней с помощью, например, ручных домкратов. При этом эквивалентной расчетной схемой напрягаемой арматуры на стадии натяжения чаще всего является жестко защемленный на концах стержень, нагруженный одной сосредоточенной поперечной силой в середине пролета или двумя такими силами, симметрично приложенными, например, на расстоянии  $1/3$  или  $1/4$  пролета от опор. Эффективность предварительного напряжения при такой схеме снижается, поскольку, кроме усилия осевого натяжения и поперечных сил, в напрягаемой арматуре возникают довольно значительные изгибающие моменты (опорные и пролетные).

Возможно создание ЛПН по “полужесткой” схеме, когда на опорах стержня устанавливаются различные устройства типа шарниров. При этом практически исключается возникновение отрицательных опорных изгибающих моментов при натяжении стержня, однако, в средней части пролета возникают довольно значительные положительные моменты.

Наиболее эффективна «шарнирная» схема натяжения напрягаемых стержней, при которой шарниры устанавливаются не только на опорах стержня, но и в пролете под «силами» (силой). При этом полностью исключается возникновение изгибающих моментов в напрягаемой арматуре и возможно, при прочих равных условиях, создание максимальных усилий обжатия конструкций. Однако такой способ, очевидно, является менее технологичным в реализации, имеет несколько большую трудоемкость и стоимость.

При реализации «шарнирной» схемы ЛПН напрягаемой арматуры с модулем упругости  $E_{sp}$  и площадью поперечного сечения  $A_{sp}$  одной силой  $F$ , приложенной в середине пролета, имеют место следующие соотношения, полученные из рассмотрения деформированной схемы нити:

$$\text{- натяжение арматуры } N = \sqrt[3]{\frac{F^2 E_{sp} A_{sp}}{8}} = 0,5 \sqrt[3]{F^2 E_{sp} A_{sp}} ; \quad (1)$$

$$\text{- стрелка натяжения } y = \frac{FL}{2\sqrt{4N^2 - F^2}} \approx \frac{FL}{4N} \quad (2)$$

(вследствие того, что при такой схеме  $F \approx (1/6...1/12)N$  – см. далее).

Если задаваться уровнем предварительного напряжения в арматуре  $\sigma_{sp}$ , то будем иметь:

$$N = \sigma_{sp} A_{sp} ; \quad (3)$$

$$y = L \sqrt{\frac{\sigma_{sp}}{2E_{sp}}} ; \quad (4)$$

$$F = \frac{4\sigma_{sp} A_{sp} y}{L} . \quad (5)$$

При «шарнирной» схеме натяжения двумя сосредоточенными силами  $F$ , приложенными на расстоянии  $\alpha L$  от опор, имеют место соотношения:

$$N = \sqrt[3]{\frac{F^2 E_{sp} A_{sp}}{2}} ; \quad (6)$$

$$y = \frac{F\alpha L}{\sqrt{N^2 - F^2}} \approx \frac{F\alpha L}{N} . \quad (7)$$

При задании уровня предварительного напряжения в арматуре  $\sigma_{sp}$  получим:

$$N = \sigma_{sp} A_{sp} ; \quad (8)$$

$$y = \alpha L \sqrt{\frac{2\sigma_{sp}}{E_{sp}}} ; \quad (9)$$

$$F = \frac{\sigma_{so} A_{sp} y}{\sqrt{y^2 + \alpha^2 L^2}} \approx \frac{\sigma_{sp} A_{sp} y}{\alpha L} \quad (10)$$

Следует отметить, что зависимости (1)-(2) могут быть получены из (6)-(7), а (4)-(5) – соответственно из (9)-(10) как частный случай (при подстановке в последние  $F = F / 2$  и  $\alpha = 1/2 = 0,5$ ).

Поскольку потери предварительного напряжения при использовании метода ЛПН существенно меньше, чем при традиционных способах, то при его реализации может применяться не только высокопрочная арматурная сталь [3]. Эффективность применения различных видов арматуры для создания ЛПН по «шарнирной» схеме можно оценить следующим образом. Будем считать, что критерием эффективности (при ограниченности усилий, развиваемых ручными домкратами – 3...5 тс) является, при прочих равных условиях, наибольшее значение отношения растягивающего усилия в напрягаемой арматуре (пропорционального усилию обжатия конструкции) к вызвавшему его значению поперечной нагрузки, т.е. отношение  $N / F$ . Из выражения (1) путем преобразований (с учетом того, что  $N = \sigma_{sp} A_{sp}$ ) можем получить:

$$\frac{N}{F} = \sqrt{\frac{E_{sp}}{8\sigma_{sp}}} = \sqrt{\frac{E_{sp}}{8hR_{sp}}}, \quad (11)$$

где  $h = \sigma_{sp} / R_{sp}$  – относительный уровень ЛПН.

Полученный результат позволяет сделать вывод о том, что значение отношения  $N / F$  для различных видов арматуры зависит только от ее деформативно-прочностных свойств и относительного уровня предварительного напряжения, т.е. оно возрастает с ростом отношения модуля упругости к расчетному сопротивлению ( $E_{sp} / R_{sp}$ ) и со снижением относительного уровня предварительного напряжения  $h$ .

Значения  $N / F$  для различных классов арматуры при разных относительных уровнях ЛПН приведены в таблице.

Анализируя полученные результаты можно отметить, что диапазон изменения значения  $N / F$  для рассмотренных уровней напряжения и классов арматурной стали составляет 5,69...11,704. Наибольшее значение  $N / F$  при заданном уровне ЛПН  $h$  обеспечивает применение арматурной стали классов А-III и А400С<sup>2</sup> ( $\varnothing 10...40$  мм), несколько меньшее – А400С<sup>1</sup> ( $\varnothing 10...40$  мм). Наименьшие значения  $N / F$

достигаются при использовании высокопрочной арматурной стали классов А-VI и А-V.

Зависимость  $N/F$  от  $h$  для различных классов арматуры

Класс арматуры	$R_{sp}$ , МПа	$E_{sp} \cdot 10^{-5}$ , МПа	Отношение $N/F$ при относительном уровне $h$				
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
А-III ( $\varnothing 10 \dots 40$ )	365	2,0	11,704	10,684	9,892	9,253	8,724 <sub>sp</sub>
А-IIIв (с контр. удл. и напр.)	490	1,8	9,583	8,748	8,099	7,576	7,143
А-IIIв (с контр. удл.)	450	1,8	10,00	9,129	8,452	7,906	7,454
А-IV	510	1,9	9,651	8,810	8,156	7,630	7,193
А-V	680	1,9	8,358	7,630	7,064	6,607	6,230
А-VI	815	1,9	7,634	6,969	6,452	6,035	5,690
А400С <sup>1</sup> ( $\varnothing 10 \dots 40$ )	375	2,0	11,547	10,541	9,759	9,129	8,607
А400С <sup>2</sup>	365	2,0	11,704	10,684	9,892	9,253	8,724
А500С ( $\varnothing 8 \dots 22$ )	450	1,9	10,274	9,379	8,683	8,122	7,658
А500С ( $\varnothing 25 \dots 32$ )	485	1,9	10,450	9,539	8,832	8,261	7,789

При больших объемах применения метода ЛПН на каком-либо объекте (или группе объектов) критерием эффективности может стать минимальная суммарная стоимость используемой арматурной стали  $C_{sp}$  :

$$C_{sp} = A_{sp} L_{sp} \gamma c_{sp} = \frac{N}{h R_{sp}} L_{sp} \gamma c_{sp} = \frac{N}{h} L_{sp} \gamma \frac{c_{sp}}{R_{sp}}, \quad (12)$$

где  $N$  – расчетный уровень натяжения напрягаемой арматуры;  $L_{sp}$  – ее суммарная длина в конструкциях объекта;  $\gamma$  – удельный вес арматурной стали;  $c_{sp}$  – стоимость 1 т арматуры (в зависимости от класса, диаметра и профиля).

Из (12) следует, что в данном случае необходимо использовать

арматурную сталь (из классов, имеющих в регионе строительства), для которой отношение  $c_{sp} / R_{sp}$  имеет минимальное значение.

1. Трофимович В.В., Пермяков В.А. Проектирование предварительно напряженных вантовых систем. – К: Будівельник, 1970. – 140 с.

2. Шагин А.Л. Конструкции с локальным предварительным напряжением / Научно-практические проблемы современного железобетона. – К.: Техніка, 1996. – С. 193-196.

3. Салия Г.Ш. Экспериментальные исследования локально предварительно напряженных элементов с арматурой класса А-III // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. Вип.2. – Харків: ХДГУБА, ХОТВ АБУ, 1998. – С. 201-203.

*Получено 20.05.2005*

УДК 721.01 : 624.012 : 681.3.06

Д.А.ГОРОДЕЦКИЙ, канд. техн. наук

*Киевский государственный научно-исследовательский институт  
автоматизированных систем в строительстве*

### **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ, УСИЛЕННЫХ БАЛКАМИ**

Рассматриваются различные расчетные модели плиты перекрытия усиленной балками для общего случая с нерегулярным расположением балок и неоднозначными условиями взаимного опирания. Для каждой модели приводятся численные примеры расчета с последующим сравнением и анализом их применимости в компьютерных технологиях проектирования.

Усиление плит балками достаточно часто встречается в современном домостроении, хотя это и противоречит требованиям свободной планировки (потолки должны быть гладкими). Поэтому балки стремятся расположить в створе перегородок, наружных стен. В любом случае расположение балок, как правило, нерегулярное, нет четко выраженной системы главных и второстепенных балок, балки могут иметь небольшую высоту и здесь часто нагрузки передаются на опоры за счет работы собственно плиты, а балки играют несамостоятельную роль. В этом случае опыт расчета и проектирования ребристых перекрытий (эти примеры имеются в каждом учебнике по железобетонным конструкциям, где рекомендуется определять нагрузку от плиты на второстепенные балки, считая опирание плиты на них жестким, затем рассчитать второстепенные балки, считая их опирания на главные балки жестким и т.д.) малопригоден и может иметь разве что антикварную ценность.

С другой стороны, с точки зрения метода конечных элементов как будто бы не должно быть никаких проблем: вводится конечно-элементная сетка плиты с базовыми точками на линиях балок, нагрузка прикладывается по верху плиты и т.д. Но здесь возникает много