

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА С АРМАТУРОЙ, ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Кондратчик Н.И., Тур В.В., Кондратчик А.А.

БПИ, г.Брест

В статье представлено теоретическое обоснование железобетонных конструкций из напрягающего бетона с комбинированным преднапряжением продольной рабочей арматуры.

Создание в сечениях железобетонных конструкций выгодного напряженного состояния до приложения внешней нагрузки существенно расширяет область их практического применения благодаря повышению трещиностойкости и возможности использовать высокопрочную арматуру. Это достигается созданием предварительного напряжения в арматуре и последующего обжатия ею бетона. Если говорить о преднапряжении продольной рабочей арматуры в конструкциях, то эта проблема сегодня решена и накоплен богатый практический опыт изготовления преднапряженных элементов с обжатием бетона по одной оси. Обжатие бетона в двух или трех плоскостях технологически сложно и в массовом порядке не применяется.

Напрягающий цемент (НЦ), предложенный В.В.Михайловым [1], и бетон на его основе, использованный в конструкции, позволяет создать в структуре собственное напряженное состояние при наличии внешнего ограничения расширения.

Используя в качестве внешнего ограничения арматуру, расположенную в одной из двух или трех плоскостях можно получить обжатие бетона по этим направлениям благодаря ее преднапряжению физико-механическим способом.

Конструкции из напрягающего бетона с арматурой, преднапряженной физико-механическим способом

При изготовлении железобетонных конструкций из бетона на НЦ вся арматура в сечениях, независимо от ее расположения в элементе, деформируется при расширении материала, т.е. получает начальное натяжение. На рис. 1 показано изменение величины обжатия бетона ($\sigma_{вр^x}$, $\sigma_{вр^y}$, $\sigma_{вр^z}$), определенной согласно рекомендаций [2] в зависимости от процента армирования по направлению рассматриваемой оси при прочих неизменных параметрах принятой эпюры самонапряжения бетона, равномерно распределенной по сечению.

Анализируя полученные зависимости можно сделать следующие выводы:

- величина самонапряжения наиболее интенсивно увеличивается до $\mu = 1\%$;
- значение $\sigma_{вр^x}$ зависит от направления ограничения расширения (по одной, по двум или по трем осям);
- большие по величине значения самонапряжения по оси Y и Z достигаются вследствие симметричного расположения арматуры (рис. 1);
- уровень обжатия бетона по оси X для изгибаемых железобетонных конструкций не достаточен. Увеличить величину $\sigma_{вр^x}$ можно используя механический способ преднапряжения продольной арматуры.

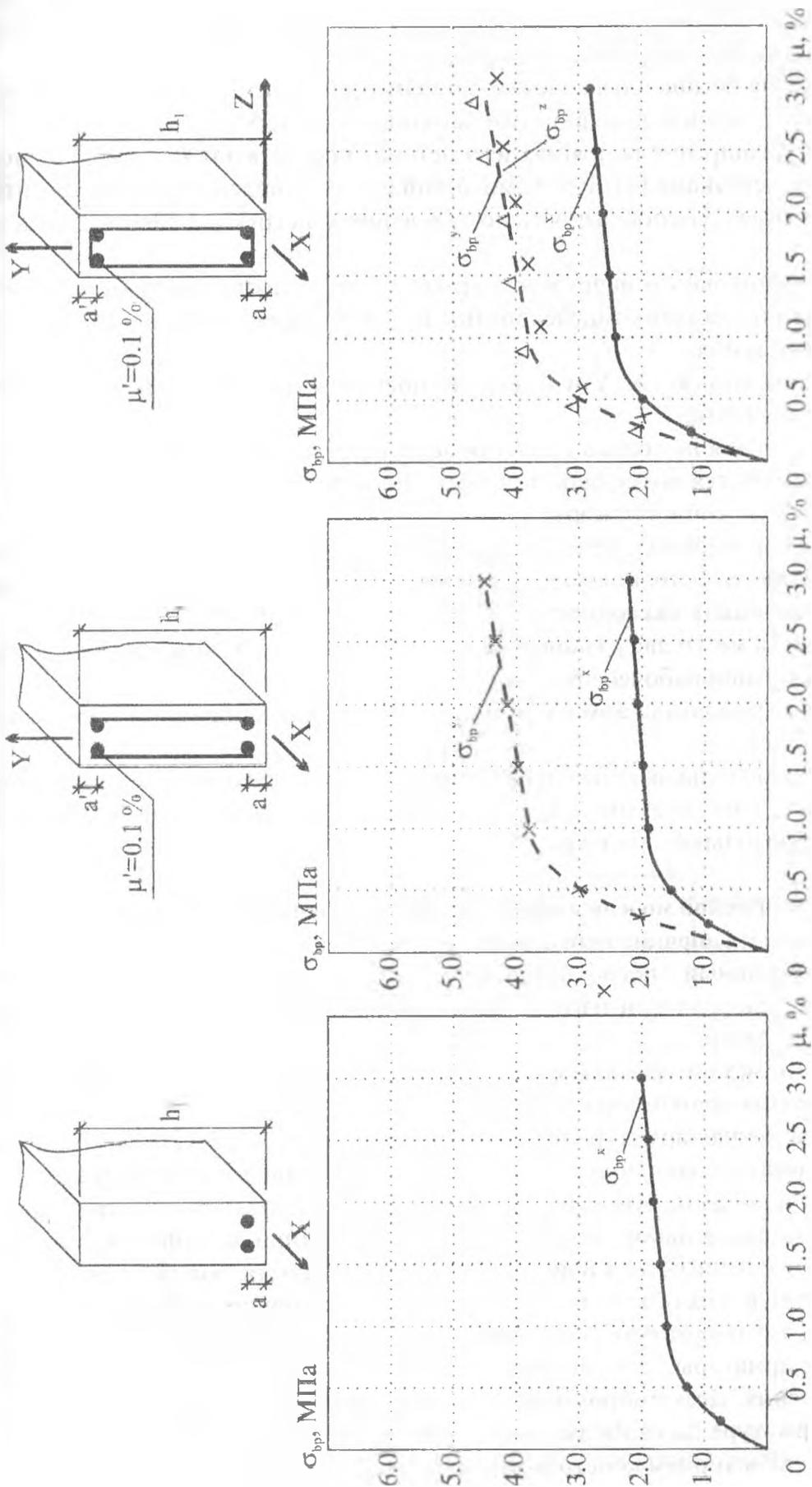


Рис. 1. Формирование напряженного состояния железобетонной конструкции из напрягающего бетона (Sp-4) при постоянных b , h , a , $a' = 0.1\%$ в зависимости от процента армирования и ориентации арматуры по соответствующей оси.

Конструкции из напрягающего бетона с арматурой, преднапряженной механическим способом

Объединение при изготовлении одной конструкции двух технологий преднапряжения продольной рабочей арматуры (механическим и физико-химическим способами) основано на следующих теоретических предпосылках:

- уровень обжатия бетона в изгибаемых элементах в нижней зоне (ось X) должен быть в 5..10 раз выше, чем в поперечном направлении (ось Y и ось Z);
- деформации расширения напрягающего бетона способствуют преднапряжению всей арматуры в конструкции (физико-химический способ), независимо от ее ориентации;

Практическая целесообразность исследования конструкций такого класса заключается в следующем:

- потери предварительного напряжения арматуры от усадки и ползучести могут быть частично или полностью компенсированы при реализации физико-химического способа преднапряжения;
- обжатие бетона по осям X, Y и Z должно повысить трещиностойкость и жесткость изгибаемого элемента;
- приопорные сечения не только станут более трещиностойкими, но и более прочными, т.к. появляется возможность довести несущую способность наклонного сечения до несущей способности нормального сечения.

Опыты авторов [3] подтвердили реальную возможность создания плоского и объемного напряженного состояния в конструкции таким способом и их влияние на трещиностойкость и прочность наклонного сечения.

Могут иметь место две разновидности конструкций с комбинированным преднапряжением продольной рабочей арматуры:

- у которых вся продольная арматура преднапрягается механическим и физико-химическим способами;
- у которых вся продольная арматура преднапрягается физико-химическим способом и только часть (65..70 %) механическим способом (конструкции с разным уровнем преднапряжения продольной арматуры).

Построение теоретической модели взаимодействия преднапряженной механическим способом арматуры и напрягающего бетона

Комбинированный способ преднапряжения арматуры может быть реализован как в заводских условиях при изготовлении сборных конструкций, так и в условиях строительной площадки.

Рассмотрим механизм взаимодействия преднапряженной механическим способом арматуры и напрягающего бетона на стадии изготовления.

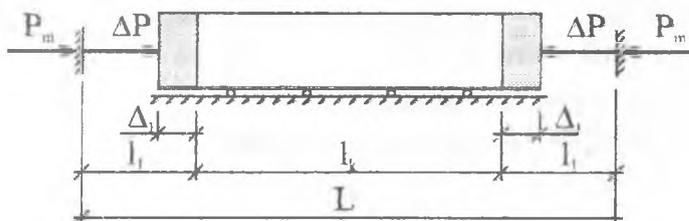
Преднапряженная арматура крепится на упорах (рис. 2). Пусть предварительно напряжение в арматуре составляет $\sigma_{sp,m}$, а усилие, передающееся на упоры P_m . После укладки бетонной смеси на НЦ в формы начинает формироваться его структура. Этот процесс сопровождается набором прочности материала (при этом формируются связи, определяющие сцепление бетона и арматуры) и ростом кристаллов гидросульфата алюмината кальция, требующих объема и, как следствие, вызывающих деформации как структуры материала, так и арматуры, препятствующей деформированию бетона. Ограничивающее влияние арматуры, помимо прочих факторов, зависит от величины образовавшихся сил сцепления. Деформирование арматуры приведет к потере предварительного напряжения в арматуре на свободных участках, что эквивалентно приложению обжимающего усилия ΔP к торцам конструкции. Учитывая одновременный и плавный харак-

тер таких процессов как набор прочности, рост сил сцепления и расширение материала следует ожидать и плавного роста усилия ΔP , оказывающего прессующее давление на неокрепшую структуру бетона. При этом следует ожидать увеличения прочности бетона и плавной передачи усилия натяжения арматуры с упоров на бетон.

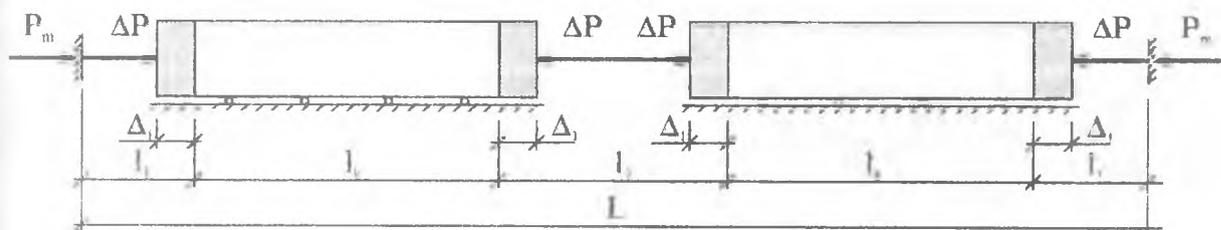
Значение прессующего давления ΔP будет зависеть от величины самоупреждения бетона и размера свободных участков арматуры на стенде.

Рассмотрим центрально-армированный элемент (рис. 2а). Примем, что система является саморегулируемой, т.е. способна самостоятельно уравнивать величины ΔP ,

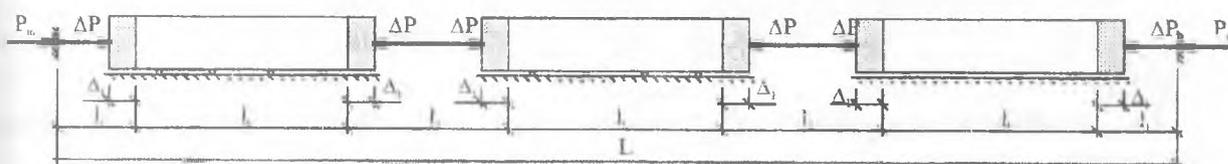
а)



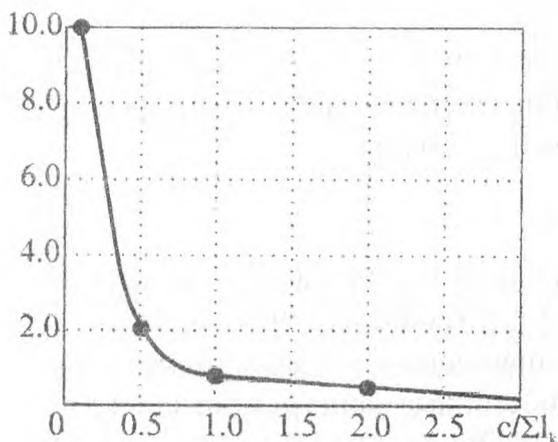
б)



в)



г)



$$k_n = \frac{n \cdot l_k}{[2 \cdot l_1 + (n-1)l_2]} = \frac{\sum l_k}{c}$$

рис. 2. К определению величины дополнительного прессующего давления ΔP при изготовлении конструкций из напрягающего бетона с арматурой, преднапряженной комбинированным способом.

действующие по горцам конструкции. Функции саморегулирования могут быть приданы системе конструктивными методами.

Усилие в арматуре при использовании механического способа преднапряжения:

$$P_m = \sigma_{spm} A_{sp} = \epsilon_{sm} E_s A_{sp} \quad (1)$$

Величина удлинения (расширения) элемента:

$$2\Delta_1 = \epsilon_{sp} \cdot l_k = \frac{\sigma_{bp} \cdot l_k}{\mu \cdot E_s} \quad (2)$$

где: ϵ_{sp} – деформации арматуры при расширении бетона;

σ_{sp} – величина самонапряжения бетона по (1) [2] при $\epsilon_b = \epsilon_{sp}$ и $\sigma_{bp} = \epsilon_b E_b$;

μ – процент продольного армирования сечения.

Деформации арматуры на свободных участках:

$$\epsilon_{s1} = 2\Delta_1 / (2 \cdot l_1) = \frac{\sigma_{bp} \cdot l_k}{2 \cdot l_1 \cdot \mu \cdot E_s} \quad (3)$$

Рассуждения имеют смысл при $\epsilon_{s1} \leq \epsilon_{sm}$, при $\epsilon_{s1} > \epsilon_{sm}$ принимать $\epsilon_{s1} = \epsilon_{sm}$.

$$\Delta P = \epsilon_{s1} \cdot E_s \cdot A_{sp} = \frac{\sigma_{bp} \cdot l_k}{2 \cdot l_1} A_{sp} = \sigma_{bp} \cdot A_{sp} \cdot k_{II} \quad (4)$$

при $k_{II} = l_k / (2 l_1)$.

Рассуждая таким же образом получим для двух других случаев (рис. 2, б и в) общую зависимость, позволяющую определить значение коэффициента k_{II} при любом количестве элементов на стенде:

$$k_{II} = \frac{n \cdot l_k}{[2 \cdot l_1 + (n-1)l_2]} = \frac{n \cdot l_k}{c} \quad (5)$$

где: n – количество элементов на стенде;

$c = L - n l_k$ – общая длина арматуры на стенде вне бетона конструкций.

Очевидно, чем меньше длина свободных отрезков арматуры на стенде, тем больше величина ΔP (рис. 2 г).

Исследования по экспериментальной проверке изложенного выше материала будут проведены впервые.

Выводы

Представленные материалы свидетельствуют о практической целесообразности изготовления железобетонных конструкций из напрягающего бетона с комбинированным преднапряжением продольной рабочей арматуры.

Список использованных источников

1. В.В.Михайлов, С.Л.Литвер. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1974 – 312 с.
2. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01 84 "Бетонные и железобетонные конструкции")/ НИИЖБ Госстроя СССР и ЦНИИПромзданий Госстроя СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 64 с.
3. Бердичевский Г.И., Будюк В.Д., Кондратчик А.А. Трещиностойкость и прочность самонапряженных элементов по наклонному сечению. Бетон и железобетон. М.: 1982, № 5, с. 22–24