

**О ЕДИНОМ МЕТОДИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ ПРИ ОЦЕНКЕ
СОБСТВЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ НА ОСНОВЕ НАПРЯ-
ГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА**

В.В. Тур

Строительный факультет, БПИ

г.Брест, Беларусь

Совершенствование и развитие новых технологий привело к получению бетонов с классами по прочности до $C^{100}/_{120}$, характеризующихся высокими эксплуатационными показателями (т.н. «high performance concrete»). Однако и материалы нового поколения не лишены недостатков, присущих традиционным бетонам на основе портландцементного вяжущего. К ним в первую очередь следует отнести: а) неадекватный рост прочности на сжатие и растяжение, в результате чего бетон по-прежнему остается искусственным камнем, работающим главным образом на сжатие; б) реологические явления (усадка и ползучесть), приводящие в ряде случаев к существенному снижению эксплуатационных качеств железобетонной конструкции.

На протяжении целого ряда лет научная мысль была направлена на поиск средств и способов полного исключения или частичного снижения деформаций усадки до значений, не приводящих к трещинообразованию бетона. Как правило, большинство из этих попыток оказывались неудачными. Применяемые кон-

структивно-технологические мероприятия (установка соответствующего количества арматуры, устройство часто расположенных температурно-усадочных швов, уход за бетоном и т.д.) в практической деятельности оказываются малоэффективными и, кроме того, в ряде случаев приводят к снижению сроков службы конструкций.

Работы многих исследователей были направлены на получение вяжущего, применение которого не только компенсировало бы усадку, но и позволило бы достичь в процессе твердения положительного объемного расширения.

В своей монографии [1] И.Гийом писал «...Если будет достигнуто значительное расширение бетона, обеспечивающее надлежащее натяжение арматуры, несомненно мы получим совершенно новый способ предварительного напряжения балок».

Получение таких бетонов стало возможным благодаря работам проф. В.В.Михайлова [2] по созданию напрягающего цемента, бетона на его основе и самонапряженных конструкций.

Следует отметить, что до настоящего времени нет единства в терминологии, касающейся как напрягающих цементов, так и бетонов на их основе. Известен целый ряд классификаций, которые являются как достаточно подробными [3], так и предельно упрощенными. Наибольшее признание в мировой практике получила квалификация, предложенная в ASTM C 845[4]. Однако и она не лишена определенной односторонности.

С нашей точки зрения наиболее приемлемым является определение расширяющегося цемента, представленное в [3]. Согласно представлениям авторов [3] расширяющиеся цементы – это неорганические вяжущие вещества, которые показывают временное и пространственное управляемое увеличение объема.

В наших работах под напрягающими бетонами принято понимать бетоны на основе напрягающих цементов, марку по энергоактивности которых и расход в составе бетонной смеси назначают в зависимости от требуемой величины самонапряжения в бетоне конструкции с учетом потерь от длительных процессов и обеспеченной длительной прочности. Для таких бетонов в число обязательных нормируемых характеристик следует зачислять проектную (нормативную) марку по самонапряжению.

Обширными экспериментальными исследованиями установлено, что величина самонапряжения бетона в конструкции зависит от главных факторов: а) марки по энергоактивности (самонапряжению) напрягающего цемента и его

расхода в составе бетонной смеси; б) степени ограничения (стеснения) деформаций расширения; в) температурно-влажностных условий развития процесса расширения (хранения конструкции).

При прочих равных условиях фактором, определяющим образом влияющим и на величину самоупрężения, является степень ограничения деформаций расширения. В традиционном понимании [2] степень ограничения принято характеризовать через процент армирования сечения $\rho_{l,s}$. В связи с чем принят именно такой критерий? Во-первых, это опутимый физический показатель, который характеризует железобетонную конструкцию (степень насыщения сечения арматурой). При этом, изначально применение самоупрężающего бетона было направлено на получение преднапруженной конструкции при растяжении ограничивающей арматуры. Во-вторых, самоупрężение не могут быть описано пользуясь законами упругого деформирования (например законом Гука) и практически все расчетные зависимости, используемые в теории самоупрężенного железобетона получены экспериментальным путем. В опытах было достаточно просто и удобно оценивать величину несвободных деформаций расширения бетона, связывая их с переменным процентом армирования сечения. На основании результатов исследований в [] была предложена мультипликативная зависимость для определения величины самоупрężения:

$$\sigma_{CE} = f_{CE,d} k_p k_s k_e \quad (1)$$

где $f_{CE,d}$ – расчетное значение самоупрężения, установленное в стандартных условиях при $\rho_l = 1\%$ согласно [5];

k_p, k_s, k_e – система коэффициентов, корректирующих отклонение условий расширения бетона в конструкции от стандартных [5].

В целом при симметричном расположении в сечении ограничивающих связей формула (1) дает хорошее совпадение с опытными данными, что дало основание в нормативном документе [5] принять гипотезу о равномерном распределении самоупрężения по сечению. Эта гипотеза была подвергнута критике в работе [6] и уточнялась в наших работах [7]. Исследованиями [7] установлены зависимости, с помощью которых стало возможным описать напряженно-деформированное состояние самоупрężенной конструкции при произвольном расположении ограничивающей арматуры в ее сечении. Таким образом удалось решить основные задачи по оценке величины самоупрężения железобетонных конструкций.

Эффективной областью применения напрягающего бетона являются сборно-монолитные конструкции. При этом, установлено [8], что расширение монолитного напрягающего бетона таких конструкций развивается в условиях, когда основным ограничением собственных деформаций являются, наряду с расположенной в нем арматурой, сборные элементы.

Экспериментальными исследованиями [8] установлено, что напряженно-деформируемое состояние от расширения напрягающего бетона оказывает существенное влияние на работу конструкции под нагрузкой. Для его оценки следует уметь рассчитывать связанные деформации и самонапряжения набетонки, а далее и всего составного сечения. Учитывая то обстоятельство, что исследованиями железобетонных конструкций [7] установлена взаимосвязь между самонапряжением, деформациями и степенью ограничения расширения, выраженной через процент армирования сечения, можно утверждать, что при прочих равных условиях установленного процента армирования сечения соответствует вполне определенная величина связанной деформации расширения, а ей в свою очередь – единственное значение самонапряжения. Или, другими словами, независимо каким способом обеспечено ограничение расширения, полученной величине связанной деформации соответствует единственное значение самонапряжения. Эта взаимосвязь в работе [2] выражена следующим образом:

$$\sigma_{CE} = k(f_{CE,d})^{1,25} \left(\frac{1}{\varepsilon_{cu,CE}} \right)^{0,25} \quad (2)$$

где $\varepsilon_{cu,CE}$ – связанная деформация бетона при расширении.

Таким образом для оценки величины самонапряжения в монолитном напрягающем бетоне любой конструкции может быть сформулирована следующая гипотеза.

При определении величины самонапряжения напрягающего бетона, расширение которого протекает в условиях ограничения деформаций внешним препятствием (упорами, сборными элементами т.д), ограничивающее влияние последнего следует учитывать путем введения некоторого условного армирования (квазиармирования), количество которого и положение в пределах сечения назначается таким образом, чтобы было полностью сохранено деформированное состояние напрягающего бетона в исходной конструкции. Пример такого перехода показан на рис. 1.

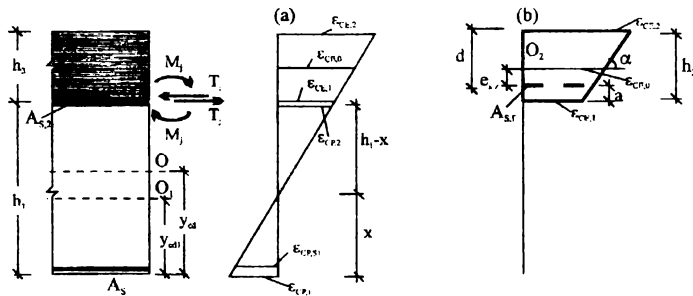


Рис. 1. Деформированное состояние исходного сборно-монолитного (а) и замещающего монолитного сечения с условным армированием $A_{s,f}$ (б)

1 – сборный элемент; 2 – монолитный напрягающий бетон.

Как видно, используя критерий, характеризующий степень ограничения, для армированных элементов (процент армирования), появляется возможность с помощью дополнительно сформулированной гипотезы о условном армировании (квазиармировании) определять величину деформаций и самонапряжений при практически любом внешнем ограничении на базе одних и тех же расчетных зависимостей вида (1).

Площадь условного армирования ($A_{s,f}$, см. рис. 1) и его положение в пределах сечения следует определять для исходного конкретного случая конструктивного решения, в котором применен напрягающий бетон.

Такой подход позволяет использовать для расчета деформаций и самонапряжений в конструкции единую методику, применяемую для расчета железобетонных самонапряженных элементов.

Литература

1. И.Гийом. Предварительно-напряженные конструкции (перевод и техн. Ред. В.В.Михайлова), М. Стройиздат, 1953 г., стр. 74.
2. В.В.Михайлов, С.Л.Литвер. Распиряющийся и напрягающий цемент и бетоны на его основе. М., Стройиздат, 1974.– с. 276.
3. И.Я.Харченко, Б.Щтарк. Распиряющиеся цементы// Mat. Научн. Конф. 75 Jahre Quellezement/ Weimar, Germany, 1995 – s. 3–10.
4. ACI Committee 233 Report. Expansive Cement Concretes -- Present State of Knowledge/ Journal of ACI,– June, 1972,– vol. 3.– p. 721–749.

5. Пособие по проектированию самонапряженных конструкций (к СНиП 2.03.01-84) – М. Стройиздат, 1989, с. 39.
6. Будюк В.Д., Никитин В.И. Экспериментально-теоретическое моделирование железобетонных элементов// Известия ВУЗов. Строительство и архитектура, 1979 – № 6 - с. 17-20.
7. Тур В.В., Басов В.С. К вопросу о влиянии эксцентриситета приложения ограничивающей связи на процессы развития самонапряжения/ Брест, 1997, с. 119-132.
8. Тур В.В. Прочность, жесткость и трещиностойкость самонапряженных ребристых плит перекрытий/ Дисс. канд. техн. наук/ Москва, НИИЖБ, 1989, 275 с.