

Тогда с учетом (2) получаем выражение для эквивалентного модуля деформации:

$$E_s = a + 2b \cdot \epsilon_s + 3c \cdot \epsilon_s^2 + 4d \cdot \epsilon_s^3 \quad (3)$$

В выражении (3) коэффициент a представляет собой по существу начальный эквивалентный модуль деформации. Значения коэффициентов a , b , c , d зависят от соотношения l/h и величины β . Так, например при $l/h = 11,5$ и $\beta = 0,4$, $a = 9933$ МПа, $b = -25,04 \times 10^5$ МПа, $c = -12,47 \times 10^7$ МПа, $d = 40,10 \times 10^{10}$ МПа.

При расчете пространственных конструкций, в частности куполов, применение эквивалентного модуля деформации позволяет учитывать одновременно продольные деформации, вызванные сжатием волокон, деформации, вызванные искривлением оси элемента и деформации, вызванные обмятием торцов в узлах.

УДК 624.012.45.042

Бусел А.П.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА ПРИ УСИЛЕНИИ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для восстановления проектных эксплуатационных свойств железобетонных конструкций и для их повышения по сравнению с проектными выполняют усиление конструкций. В зависимости от цели при усилении железобетонных конструкций их рассчитывают по условию прочности, по деформациям или трещиностойкости.

Вопросами усиления железобетонных конструкций начали заниматься давно и к настоящему времени разработано большое количество конструктивных решений и технологических приемов их усиления. Примеры усиления конструкций зданий и сооружений встречаются в инженерной практике довольно часто [4, 6].

Способ усиления и восстановления, включающий в себя усиление железобетонных конструкций путем увеличения площади поперечного сечения за счет устройства обойм, рубашек или односторонних и двусторонних наращиваний сечений конструкций железобетонных конструкций, получил наиболее широкое распространение в строительстве. Применение обойм рекомендуется для усиления колонн. В этом случае достигается наибольшая эффективность этого конструктивного решения. В некоторых случаях усиление сжатых элементов путем ограничения поперечных деформаций производится установкой предварительно напряженной косвенной арматуры в виде спиральной обмотки из проволоочной арматуры.

Ввиду того, что бетон представляет собой неоднородное тело, внешняя нагрузка создает в нем сложное напряженное состояние. В подвергнутом сжатию бетонном образце напряжения концентрируются на более жестких частицах, обладающих большим модулем упругости, вследствие чего по плоскостям соединения частиц возникают усилия, стремящиеся нарушить связь между ними. В то же время в местах ослабления бетона порами и пустотами происходит концентрация напряжений. Из теории упругости известно, что в теле с отверстием, подвергнутом сжатию, наблюдается концентрация как сжимающих, так и растягивающих напряжений. При этом растягивающие напряжения действуют по площадкам, параллельным сжимающей силе. Поскольку бетон содержит большое количество пор и пустот, растягивающие напряжения у одного отверстия накладываются на соседние. В результате, в бетонном образце, подвергнутом осевому сжатию, возникают как продольные сжимающие, так и поперечные растягивающие напряжения (вторич-

ное поле напряжений). Разрушение сжимаемого образца возникает вследствие разрыва бетона в поперечном направлении. Сперва по всему объему возникают микроскопические трещинки отрыва. С ростом нагрузки трещинки отрыва соединяются, образуя видимые трещины, направленные параллельно или с небольшим наклоном к направлению действия сжимающих сил. Затем трещины получают значительное раскрытие, сопровождающееся кажущимся увеличением объема. Наконец, наступает полное разрушение образца вследствие разрыва бетона в поперечном направлении [3].

Опытами выявлено повышенное сопротивление сжатию бетона, заключенного внутри спирали: спираль подобно обойме сдерживает поперечные деформации бетона, сохраняя его несущую способность и после появления первых трещин. Ядро, заключенное внутри спирали, успешно работает даже после отслаивания наружного слоя бетона до тех пор, пока в спиральной арматуре напряжения не достигнут предела текучести, после чего спираль не в состоянии сдерживать радиальные деформации бетона. В обойме бетон при сжатии испытывает особенно большие пластические деформации, которые тем больше, чем сильнее спираль [1].

В НИИЖБе проводились исследования по влиянию косвенного армирования на деформативность бетона [5]. Результаты исследования работы бетонных образцов при различных процентах косвенного армирования представлены на рис. 1. С увеличением поперечного армирования при постоянном продольном, деформации, соответствующие максимальной несущей способности элемента возросли в 3 раза для образцов с косвенным армированием 5.4 %.

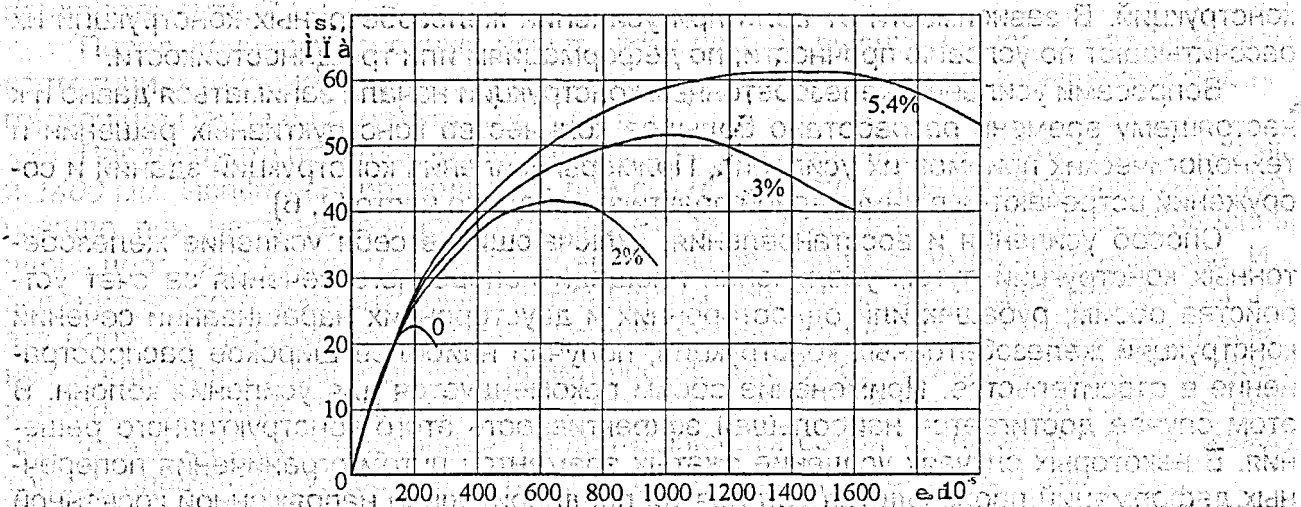


Рис. 1. Диаграмма сжатия бетона при различных процентах косвенного армирования

Поперечное армирование существенно изменяет напряженно-деформированное состояние сжатых элементов в зонах его размещения, создавая эффект работы бетона в обойме. Деформации бетона защитного слоя достигают предельных значений раньше, чем в ядре. При высоких нагрузках, близких к предельным, происходит местный отрыв защитного слоя от бетонного ядра, причиной которой являются смятие бетона под поперечными стержнями и различие деформирования бетона защитного слоя и ядра. Затем зона трещин распространяется в сечении между поперечной арматурой, отрывается защитный слой, вследствие чего происходит потеря устойчивости сжатой арматуры и наступает полное разрушение конструкции. Работы по исследованию сжатых железобетонных элементов, усиленных методом обоймы, выполнялись многими учеными, в том числе и в Полоцком государст-

венном университете. Так, под руководством Д.Н. Лазовского проводились исследования железобетонных колонн, усиленных железобетонными и металлическими обоймами [2]. На рис. 2 показана общая схема разрушения опытной колонны. Анализ испытаний показывает, что разрушение начинается с появления продольных трещин в обоймах усиления, на участках наибольшего разрушения заметно отслоение нового бетона от бетона образца. Результаты исследований прочности и деформативности усиленных образцов представлены на рис. 3. Характер разрушения показывает наличие в них растяжения в поперечном направлении.

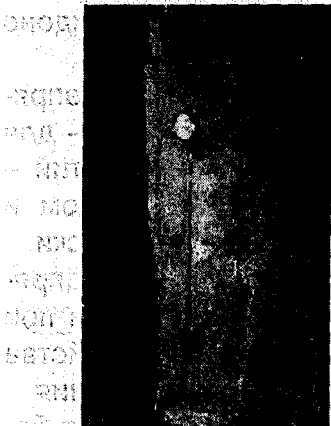


Рис. 2.
Общий вид разрушения опытной колонны

Исследуя работы по усилению конструкций можно сделать вывод, что в каждой из них приняты различные условные классификации с подробным описанием достоинств и недостатков различных способов усиления. Во всех трудах выделяется усиление под нагрузкой и с разгрузкой конструкций. Разгрузка конструкций может быть полное с последующим исключением старой конструкции и заменой ее на новую, либо частичное. Рекомендуется осуществлять усиление конструкций с полным их разгрузкой, либо под нагрузкой, не превышающей 65 %.

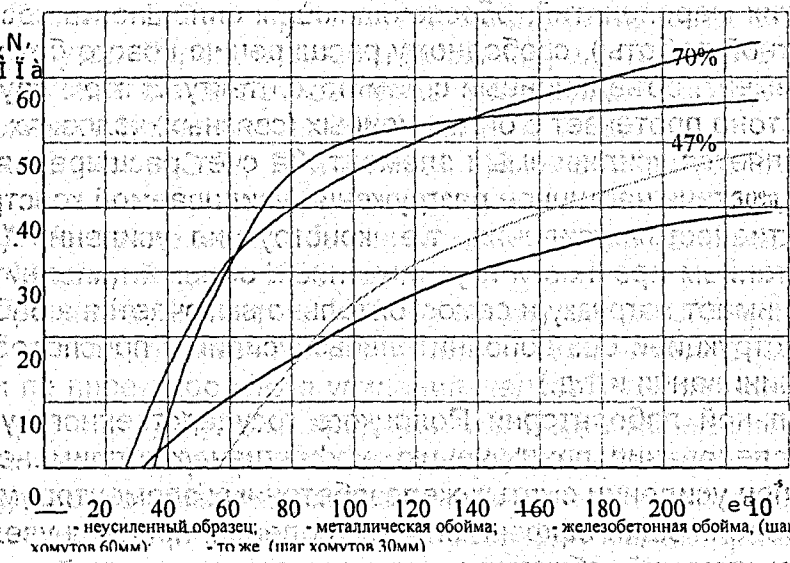


Рис. 3. Результаты исследования прочности и деформативности усиленных колонн

Работы по разгрузке конструкций требуют затрат материальных, трудовых ресурсов, времени. Иногда это может повлечь за собой приостановку основного производства предприятия. Исходя из этого очевидно, что целью исследований и

разработок в области реконструкции и усиления, в частности, является создание наиболее эффективных способов усиления строительных конструкций, выполняемых с минимальными затратами и по возможности без их разгрузки.

Совершенствование бетонных и железобетонных конструкций, расширение целесообразных областей их применения в значительной степени зависит от создания новых эффективных вяжущих, в том числе сверхпрочных, коррозионно-стойких и быстротвердеющих цементов.

Свойства напрягающего цемента позволяют утверждать о высокой долговечности строительных конструкций, изготовленных из бетона на НЦ, что подтверждено положительным опытом их эксплуатации.

Традиционно принято различать три основных случая применения самонапрягающих бетонов в строительстве [7]. Первый, и наиболее распространенный, - для гидроизоляции сооружений. Второй - для компенсации усадки в бетоне. Третий - для получения расчетного самонапряжения железобетона. Причем во втором и третьем случае водонепроницаемость конструкции обеспечивается автоматически.

В данной работе предлагается новая область применения бетонов на напрягающем цементе в строительстве, а именно - при реконструкции, в частности при усилении сжатых железобетонных элементов. Все вышеперечисленные свойства бетонов на напрягающем цементе прекрасно подходят для данного использования.

Так, ввиду его слабопористой структуры, обеспечивается надежная защита бетона и арматуры усиливаемой конструкции. Повышенная прочность на растяжение, по отношению к бетонам на традиционном портландцементе, эффективно при ограничении поперечных деформаций сечения при сжатии. Кроме того исследования показывают, что наибольший эффект от самонапряжения достигается при трехосном (объемном) ограничении деформаций расширения бетона. Такие условия имеют место, например, в колоннах, армированных спиральной арматурой, или усиленных обоймой.

Таким образом, получаем поперечное обжатие усиливаемого сжатого элемента, т.е. достигается эффект «обоймы». При выполнении необходимых конструктивно-технологических мероприятий, обеспечивающих сплошность составного сечения (условия совместной работы), свободному расширению нового бетона препятствует усиливаемый элемент, объединенный с ним по контакту. В этом случае расширение напрягающего бетона протекает в ограниченных (связных) условиях, когда основным ограничением является усиливаемый элемент. За счет расширения бетона получается возможным достичь частичное разгружение усиливаемой конструкции. В этом и заключается «активность» усиления, т.е. конструкция усиления (железобетонная обойма) с нарастанием прочности и увеличением объема дополнительного бетона частично воспринимает нагрузку и самостоятельно включается в работу совместно с усиливаемой конструкцией без дополнительных усилий и приспособлений (затяжек, домкратов, подклинивания и т.д.).

В испытательной лаборатории Полоцкого государственного университета запланированы исследования по изучению эффективности применения самонапрягающего бетона при усилении сжатых железобетонных элементов методом обоймы. За критерии, определяющие эффективность усиления, приняты увеличение прочности усиленных конструкций, обжатие и возможное разгружение усиливаемых образцов за счет энергии расширения бетона на напрягающем цементе.

Для проведения экспериментальных исследований планируется изготовить опытные образцы в виде колонн с размерами поперечного сечения 100×100 мм длиной 1000 мм. Колонны армируются четырьмя продольными стержнями из арматуры класса А-III $\varnothing 10$. Поперечные хомуты из арматуры класса В-I $\varnothing 6$ с шагом 200 мм

(рис. 4). Испытания опытных образцов планируется производить при центральном нагружении.

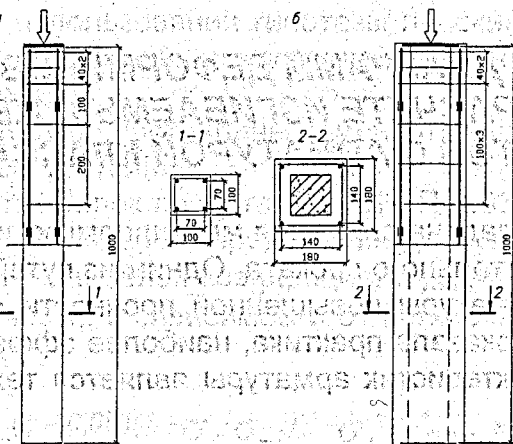


Рис. 4. Конструкция опытных образцов: а – до усиления; б – после усиления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование способа усиления должно вестись по возможности без разгрузки конструкций и связанного с ней сокращения процесса остановки производства, а также с уменьшением продолжительности выполнения работ. Целью планируемых экспериментальных исследований является обоснование условий эффективного применения самоупрегающего бетона при усилении сжатых железобетонных элементов методом обоймы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гроздов В.Т., Теряник В.В. О прочности и деформативности колонн, усиленных обоймами // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. - №3. - с. 8-10.
2. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. Новополоцк: ПГУ. – 1998. - с. 7-36.
3. Мурашев В.Н., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. – М. 1962.
4. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат. 1965. - с. 342.
5. Попов Н. Н., Трекин Н. Н., Матков Н. Г. Влияние косвенного армирования на деформативность бетона // Бетон и железобетон. – 1986. - №11. - с. 33-34.
6. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения. – Харьковский Промстройниипроект, НИИЖБ -М.: Стройиздат. -1992.
7. Тур В.В. Определение самоупрега в монолитной части сборно-монолитных конструкций от расширения напрягающего бетона. В кн. Материалы конференции "Инженерные проблемы современного бетона и железобетона" г. Минск. -1997. - с. 193-199.