

меров пролета. Ввиду пологости оболочки разница в статической работе и геометрическом построении разных поверхностей несущественна, в них изгибающие моменты появляются лишь в той части оболочки, которая контактирует с опорами. Большая часть площади оболочки в таком случае подвергается лишь действию продольных сжимающих усилий.

- 1.Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г. Железобетонные и каменные конструкции. – К: Будівельник, 2002. – 373 с.
- 2.Маилян Р.Л., Веселов Ю.А. Строительные конструкции. – М.: Техника, 2005. – 512 с.
- 3.Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С.М. Пластинки и оболочки. – М.: Физматгиз, 1963. – 63 с.
- 4.Доннелл Л.Г. Балки, пластины и оболочки: Пер. с англ. – М.: Наука, 1982. – 568 с.
- 5.Шутенко Л.Н., Засядько Н.А., Чупрынин А.А. Основы теории упругости и пластичности. – Харьков: ХНАГХ, 2007. – 135 с.
- 6.Васильев П.И. Связь между напряжениями и деформациями в бетоне при сжатии с учетом влияния времени // Изв. ВНИИГ гидротехники. Т. 45. – М., 1951. – С.78-92.
- 7.Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейной механике железобетона. – Запорожье: ИПО Запорожье, 2009. – 400 с.

*Получено 10.09.2010*

УДК 560.178

Ю.В.ГЛАЗУНОВ, канд. техн. наук

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СТАЛЕБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Приведены теоретические и экспериментальные исследования сталебетонных конструкций при разных способах приложения продольной нагрузки и показана технико-экономическая эффективность применения этих конструкций в сравнении со стальными и железобетонными конструктивными элементами.

Наведено теоретичні й експериментальні дослідження сталебетонних конструкцій при різних способах поздовжнього навантаження і показана техніко-економічна ефективність застосування цих конструкцій замість сталевих і залізобетонних.

A method of strength calculation of rectangular section of steel-concrete columns depending on the process of longitudinal loading has been developed. Theoretical and experimental data have been compared. Cite experiment and theoretical investigation steel concrete constructions depending on the process of longitudinal loading has been developed and method their calculation. There was executed the experimental and theoretical researches of the steel-concrete elements, working by center compression.

*Ключевые слова:* сталебетон, сталебетонный элемент, осевое сжатие, изгиб, внешнее армирование, бетонное ядро, стальная оболочка.

Способность бетона эффективно работать в режиме объемного

(пространственного) напряженного состояния является хорошим резервом совершенствования традиционных железобетонных конструкций. Поэтому в последнее время наметилась тенденция улучшения свойств таких несущих конструктивных элементов путем целенаправленного влияния на характер и уровень напряженного состояния бетона. Примером могут быть так называемые сталебетонные конструкции (сжатые элементы из бетона в металлической оболочке), в которых, благодаря трансформации одноосного напряженного состояния в трехосное, достигается значительный эффект.

Исследования ряда отечественных и зарубежных ученых [1-8] показывают, что одним из радикальных путей повышения эффективности и качества бетонных и железобетонных изделий является широкое внедрение во все области строительства высокопрочных материалов и конструкций, позволяющих существенно снизить материалоемкость строительства, а именно – сталебетонных конструктивных элементов.

Сталебетонный стержень является комплексной конструкцией, состоящей из стальной оболочки и бетонного ядра, которые работают совместно. Стальная оболочка выполняет одновременно функции как продольного, так и поперечного армирования, воспринимает усилия по всем направлениям и под любым углом. Боковое давление обоймы препятствует развитию микротрещин разрыва в бетонном сердечнике, который в условиях всестороннего сжатия выдерживает напряжения, значительно превосходящие призмную прочность бетона. Одновременно обойма, заполненная бетоном, оказывается, в значительной степени, предохраненной от потери местной и общей устойчивости.

В настоящее время разработана методика расчета сталебетонных элементов прямоугольного поперечного сечения на прочность при осевом сжатии, основанная на раскрытии контакта между обоймой и ядром, работающим в условиях объемного напряженного состояния с переменными параметрами деформирования. Проведены численные расчеты напряженно-деформированного и предельного состояния сечения, и показано, что для оценки несущей способности таких конструкций необходимо учитывать контактное взаимодействие между обоймой и ядром [8].

При исследовании изменений, происходящих в структуре бетона под нагрузкой, экспериментально установлено, что причиной разрушения являются микроскопические трещины отрыва, возникновение которых начинается значительно раньше при нагрузках, составляющих 50-60% предельной [1]. В результате проведенных исследований и последующего их анализа была предложена линейная теория прочности бетона в условиях многоосного напряженного состояния, учитыва-

ющая сложное нагружение [4].

Изучение новых направлений в области совершенствования строительных конструкций показало, что одним из перспективных является использование внешнего листового армирования, которое одновременно выполняет силовые, защитные, изоляционные, технологические функции [2].

Среди железобетонных конструкций с внешним армированием можно выделить такие конструкции:

- комплексные сталежелезобетонные – железобетонная плита, объединенная со стальными двутавровыми балками;
- сталежелезобетонные со смешанным армированием – железобетонные обычные и предварительно напряженные балки с дополнительно прикрепляемыми стальными листами;
- железобетонные брусковые – бруски армируются стальными уголками, которые располагаются по углам поперечного сечения;
- трубобетонные и трубожелезобетонные;
- сталебетонные – армированные обычной и высокопрочной напрягаемой полосовой арматурой.

Сталебетонные конструкции – это конструкции, у которых в растянутой или сжатой зоне применяется внешняя обычная или высокопрочная напрягаемая полосовая, листовая арматура, установленная на крайних гранях поперечного сечения [3].

Полосовую, листовую сталь в качестве арматуры железобетонных конструкций начали широко использовать в последние годы. Можно выделить четыре основных направления применения таких конструктивных элементов:

- для армирования ограждающих и несущих конструкций в зданиях и сооружениях, к которым предъявляются требования полной непроницаемости жидкостей, газов и различных излучений;
- для опалубки при изготовлении монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций с использованием ее после затвердения бетона в качестве несущей арматуры конструкций;
- для армирования балочных линейных элементов (ригели, балки покрытия и перекрытия, подкрановые балки, фермы, ребристые балочные плиты и др.) и колонн с целью уменьшения массы, размеров сечения, а также получения экономии стали;
- для усиления балочных и других элементов.

Листовая арматура в отечественной практике впервые была применена для придания полной газонепроницаемости жароупорным конструкциям при большом количестве отверстий в футеровке или мест крепления оборудования, затруднявших армирование отдельными

стержнями, а также для подземной части мартеновских цехов, отстойников, доменных печей.

Использование листовой стали в качестве металлической изоляции и несущей арматуры позволяет достичь значительной экономии стали в железобетонных конструкциях зданий и сооружений, кроме того, сократить сроки строительства, повысить сборность и производительность труда при возведении сооружения.

Листовая сталь в качестве опалубки и одновременно несущей арматуры получила применение при возведении монолитных, сборно-монолитных и сборных железобетонных перекрытий. При этом первоначально она использовалась только как опалубка и лишь после затвердения бетона учитывалась как несущая арматура железобетонного сечения.

Зарубежные ученые [5, 6] считают, что применение листовой «опалубки-арматуры» является не только экономичным при устройстве монолитных перекрытий и покрытий (по стоимости и трудоемкости их возведения), но и эффективным средством увеличения жесткости железобетонных плит.

При строительстве электростанций применяют внешнюю арматуру в виде прокатного профиля – уголка в несущих конструкциях колонн зданий [3]. Такая арматура способствует снижению большого количества закладных деталей в конструкции при монтаже технологических коммуникаций.

В зарубежной практике известны решения по применению предварительно напряженных сталежелезобетонных балок, работающих в сочетании с полосовой арматурой, расположенной на растянутой и сжатой гранях сечения [5]. Применение продольной полосовой арматуры позволяет значительно уменьшить строительную высоту балки, что определяет экономичность такого решения при проектировании несущих конструкций перекрытий многоэтажных зданий, в том числе неразрезных систем, и пролетных строений мостов.

Конструктивная форма, высота, размеры сечений железобетонных плит, балок, ригелей остаются длительное время, с учетом условия прочности и жесткости, стабильными и неизменяемыми. Конструктивные решения поперечных сечений сталебетонных изгибаемых элементов с внешней арматурой позволяют при обеспечении прочности и жесткости уменьшить высоту, размеры сечений элементов. Концентрированное расположение полосовой арматуры на внешних гранях сечения дает возможность снизить массу, уменьшить размеры сечения или получить экономию стали при одинаковой высоте с железобетонными конструкциями.

Увеличение процента содержания листовой арматуры, расположение ее на краю сечений повышают несущую способность сталебетонных элементов при рациональном использовании высокопрочных марок бетона и небольших размерах поперечного сечения [7].

При одинаковых размерах сечения и проценте армирования сталебетонных и железобетонных конструкций сталебетонные обладают большим моментом сопротивления, так как концентрированное сечение полосовой, листовой арматуры располагается на максимально возможном удалении от центра тяжести сечения.

Применение полосовой, листовой арматуры исключает необходимость многорядного расположения ее по высоте сечения (как в железобетонных элементах со стержневым армированием), что позволяет более экономно использовать сталь, значительно упростить укладку и уплотнение бетона и снизить трудозатраты.

В несущих сталебетонных конструкциях исключаются затраты на изготовление опалубки, что дает значительную экономию, сокращает сроки их изготовления и трудозатраты на строительной площадке. Особенно это характерно для сталебетонных элементов с двойным листовым армированием, применяемым в облицовке реакторов атомных электростанций, а также при устройстве монолитных перекрытий.

Изготавливаемые на заводе металлоконструкций крупные секции состоят из наружных и внутренних листов, соединенных решеткой и снабженных внутренними трубчатыми вставками для всех проводок и пересечений стен. Листы служат арматурой, защитной облицовкой, опалубкой и используются также для крепления закладных деталей.

Сталебетонные балочные конструкции могут применяться в некоторых сооружениях наравне с металлическими, расширяя, таким образом, область применения железобетонных конструкций. При этом площадь, подверженная коррозии, уменьшается до 10-20%, металлоемкость – на 30-40%.

В данной научной работе выполнены теоретические и экспериментальные исследования влияния способа приложения внешней продольной нагрузки на несущую способность сталебетонных коротких колонн прямоугольного сечения.

Проведенный анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- разработан и проверен экспериментально способ расчета сталебетонных колонн на центральное сжатие при передаче нагрузки «на бетон», «на оболочку». При этом предполагается, что бетонное ядро и оболочка связаны между собой силами сцепления дискретно по длине и сечению;

- при передаче продольной нагрузки на бетон несущая способность сталебетонных колонн составляет в среднем 0,8 от несущей способности при передаче нагрузки одновременно на бетон и оболочку. Сравнение с несущей способностью бетонных колонн показывает, что наличие обоймы приводит к увеличению несущей способности сталебетонных колонн в среднем в два раза;

- несущая способность при передаче нагрузки на обойму составляет в среднем 0,46 от несущей способности при загрузке бетона и обоймы одновременно и превышает в среднем в 1,9 раза несущую способность пустотелых колонн;

- результаты испытаний сталебетонных колонн, у которых отсутствует сцепление между бетоном и стальной обоймой, на центральное сжатие при передаче продольной нагрузки на бетон и сталь одновременно, показывают, что силы сцепления не оказывают существенного влияния на их несущую способность.

В результате проведенных технико-экономических исследований определено, что применение сталежелезобетонных элементов в зданиях и сооружениях способствует экономии до 28-33% стали по сравнению со стальными и до 11% – с железобетонными конструктивными элементами. Приведенные затраты снижаются в первом случае на 25-30%, во втором – на 45-50%. Использование сталежелезобетонных колонн в подкрановых эстакадах позволяет экономить до 10-15% стали по сравнению со стальными и до 12% – с железобетонными колоннами. Приведенные затраты снижаются на 35%.

1.Альперина О.Н. Исследование сжатых железобетонных элементов с поперечным армированием: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Харьков, 2005. – 24 с.

2.Васильев А.П., Голосов В.Н. Состояние и перспективы развития конструкций с внешним армированием // Бетон и железобетон. – 2007. – № 9. – С.28-29.

3.Воронков Р.В. О внешнем листовом армировании // Промышленное строительство. – 2006. – № 5. – С.19-20.

4.Марков Б.П. Исследование условий совместной работы железобетонной плиты с металлическими сплошными балками. – М.: Наука, 2005. – 180 с.

5.Smith F., Brown R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington, N 106, 2001, p. 205.

6.Garner N.I. Use of Spiral Welded Steel Tubes in Pipe Columns. ACJ. J. Proceedings, vol. 65, Nov. 2003, p. 937-942.

7.Переяславцев Н.А. Брусковые конструкции с внешним армированием, уголками – М.: Наука, 2004. – 276 с.

8.Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных конструкций в условиях статического и динамического нагружения: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – Харьков, 1985. – 32 с.

*Получено 24.10.2010*