

Козлова М.И.

(ПГУ, Новополюцк)

Попков Ю.В., канд. техн. наук, доц.

(Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

ПРОЧНОСТЬ СЖАТОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА С УЧЕТОМ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ И ШАГА ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ

Одной из причин, которые приводят к разрушению железобетонной конструкции, может быть недостаток норм конструирования, а именно неверные подбор и расстановка поперечной арматуры металлического каркаса. Строительные нормы дают различные указания в вопросах выбора минимального диаметра арматуры, минимального расстояния между стержнями поперечной арматуры, способов закрепления стержней и их конструкции. Эти факторы существенно влияют на устойчивость рабочих продольных стержней каркаса железобетонной конструкции, что влияет на прочность и устойчивость сооружения в целом. Потеря устойчивости может стать причиной разрушения как отдельного элемента конструкции, так и всего сооружения. Поэтому уточнение норм проектирования в части определения интенсивности поперечного армирования сжатых элементов является актуальной задачей в дальнейших исследованиях конструкций.

Железобетонные элементы могут быть сжаты внешними продольными силами центрально, т.е. по оси поперечного сечения, или внецентренно. Центральное сжатие в чистом виде наблюдается довольно редко, и его возможно осуществить только в лаборатории. В реальных условиях, из-за несовершенства геометрических форм элементов конструкций, отклонения их реальных размеров от назначаемых по проекту, неоднородности бетона и других причин, происходит внецентренное приложение сил с так называемыми случайными эксцентриситетами.

К центрально-сжатым элементам условно относят: промежуточные колонны в зданиях и сооружениях, верхние пояса ферм, нагруженных по узлам, восходящие раскосы и стойки решетки ферм [1]. К внецентренно сжатым элементам относятся крайние колонны промышленных и гражданских зданий, стойки эстакад, элементы рамных конструкций, арок. Также во внимание следует принимать сжатую зону изгибаемых балок, где также устанавливается поперечная арматура.

По форме поперечного сечения сжатые элементы со случайным эксцентриситетом выполняют чаще всего квадратными или прямоугольными, реже – круглыми, многогранными и двутавровыми. Колонны, имеющие квадратное или прямоугольное поперечное сечение, получили наибольшее распространение. Колонны эффективного двутаврового поперечного сечения (преимущественно для тяжело нагруженных колонн) применяют в промышленном строительстве.

Армирование выполняется продольными стержнями диаметром 12 – 40 мм класса S400 и поперечными стержнями диаметром не менее $0,25d$ (где d – диаметр продольной арматуры) и не менее 6 мм из арматуры классов S240, S400. Продольную и поперечную арматуру объединяют в плоские и пространственные каркасы: сварные или вязаные, с жесткой или гибкой арматурой (рис. 1).



Рис. 1. Примеры армирования сжатых элементов:
 а – сварной каркас; б – сварной каркас с промежуточными стержнями;
 в – вязанный каркас; г – каркас с жесткой арматурой

Поперечная арматура направлена перпендикулярно продольной арматуре. Основное назначение поперечной арматуры состоит в предотвращении преждевременного выпучивания рабочей арматуры вследствие продольного изгиба. Кроме того, поперечная арматура дает возможность образования пространственных арматурных каркасов.

Термин «поперечная арматура» включает в себя хомуты, шпильки (рис. 2) и отогнутые стержни (отгибы), а термин «хомуты» – поперечные стержни сварных каркасов и хомуты вязаных каркасов.

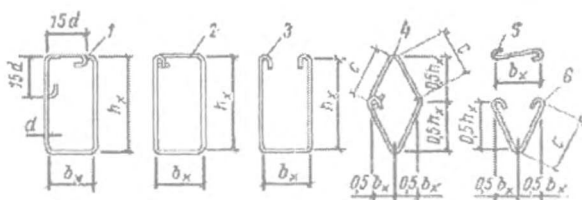


Рис. 2. Гнутые арматурные стержни: хомуты и шпильки:
 1 – хомут элемента, рассчитанного на кручение; 2 – закрытый хомут;
 3 – открытый хомут; 4 – ромбовидный хомут; 5, 6 – шпильки

Хомуты служат для восприятия поперечных и перерезывающих сил. Их форма и размеры зависят от размеров сечений и количества продольной арматуры (рис. 3) [2].

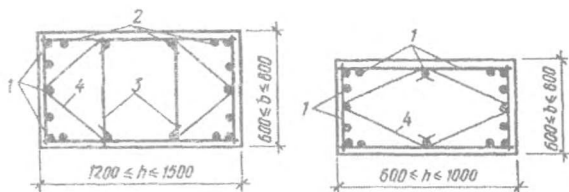


Рис. 3. Примеры армирования сечений колонн:
1 – сетка; 2 – соединительный стержень; 3 – шпилька; 4 – хомут

Идея ввести хомуты, как конструктивные элементы, имеющие определенное назначение принадлежит французскому инженеру Фр. Геннебику (1894). Также интересны исследования французского инженера Консидера в области изучения деформаций бетона и влияния на их величину распределенной в нем арматуры [3].

В 1945 году Дж. Кингом было выполнено большое исследование, посвященное изучению влияния хомутов на несущую способность колонны. В своих опытах Дж. Кинг исследовал влияние размера шага и диаметра хомута на несущую способность колонны. Результаты исследований показали, что хомуты могут оказывать существенное влияние на прочность колонны [4].

Исследованием образцов с переменным шагом хомутов на центральное сжатие занимался Н.С. Карпухин. По полученным данным сделан вывод, что с уменьшением шага хомутов в 2 раза, несущая способность элементов увеличилась всего лишь на 7 %.

Гамаюновым Е.И. исследовались сжатые элементы с расположением хомутов на контуре сечения. В этом случае поперечное армирование в большей степени проявляет эффект обоймы по сравнению с традиционным. Замечено, что хомуты с шагом 5 см повышают несущую способность элементов, в то же время несущая способность у элементов с шагом 10 и 15 см почти одинакова [4].

Изучением сжатых элементов занимались такие советские ученые, как: А.Ф. Лолейт, В.М. Келдыш, А.А. Гвоздев, П.Л. Пастернак, В.И. Мурашев, В.В. Михайлов, Я.В. Столяров, О.Я. Берг, Б.Я. Рискинд, И.Г. Иванов-Дятлов, А.П. Васильев, М.С. Боришанский, и другие исследователи. Также известны работы зарубежных ученых: К. Бах, О. Граф, Дж. Кинг, И. Пфлистер,

Ф. Томас, С. Макей, Ф. Гример и многие другие. Научно-исследовательские работы этих авторов внесли большой вклад в развитие теории расчета сжатых элементов.

В 80-е годы XX века исследованием сжатых элементов занимался Ф.П. Босовец. При изучении внецентренно сжатых с малыми эксцентриситетами приложения кратковременной силы аглопоритобетонных колонн, армированных стержнями крупных диаметров, Босовец Ф.П. учитывал такие факторы, влияющие на прочность и деформативность элемента, как: величина случайного эксцентриситета, толщина защитного слоя и влияние шага хомутов на устойчивость арматурного стержня в бетоне. В ходе практических опытов была исследована устойчивость арматурного стержня в сжатом элементе и разработаны рекомендации по назначению шага хомутов и толщины защитного слоя бетона [4].

Многочисленные опыты, проведенные в разное время и в различных лабораториях с железобетонными стойками, дают возможность судить о явлениях, сопровождающих центральное сжатие, и о характере их разрушения:

1) разрушение железобетонной стойки при действии на нее центральной нагрузки происходит от нарушения прочности бетона и от течения арматуры [3]. Однако эти явления редко совпадают. Данные опытов Баха с короткими стойками высотой 1 м и поперечным сечением 25×25 см, а также опытов Залигера со стойками 3 м высотой и сечением 30×30 см показывают, что предельная сжимаемость бетона, отвечающая началу разрушения, имела меньшую величину, чем деформация стали, соответствующая началу ее текучести [3]. При этом величина сжимаемости бетона зависит не только от свойств самого бетона, но и от характера действия сжимающей нагрузки;

2) существенную роль в сопротивлении и деформациях стойки играет поперечная арматура в виде хомутов [3]. Хомуты необходимы для того, чтобы защитить продольные стержни колонны от влияния продольного изгиба. При этом хомуты задерживают поперечное расширение бетона в стойке и влияют на увеличение его продольного сопротивления. Таким образом, хомуты, стягивая бетон, позволяют ему получать большие деформации сжатия без появления трещин разрыва. Следовательно, таким путем повышается предельная сжимаемость бетона;

3) появление продольных трещин на колонне вдоль сжатой арматуры свидетельствуют о том, что рабочие стержни начинают терять устойчивость из-за чрезмерно большого расстояния между стержнями поперечной арматуры (рис. 4). Снижение несущей способности элемента происходит

не только за счет изменения усилий, воспринимаемых сжатой арматурой, но и за счет уменьшения сжатой зоны бетона.

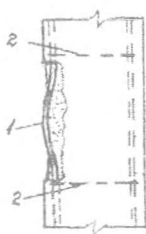


Рис. 4. Схема разрушения бетона при потере устойчивости продольного стержня:
1 - продольная сжатая арматура;
2 - поперечные стержни (хомуты)

Потеря устойчивости продольных стержней наблюдается между хомутами. Разрушение колонны независимо от типа сечения имеет хрупкий характер со звуковым эффектом, что объясняется структурными особенностями, увеличенной скоростью деформирования и повышенным количеством потенциальной энергии деформации, накапливаемой в образцах во время их нагружения [4].

4) В сечении элемента равнодействующая поперечных усилий направлена от центра тяжести к осям арматурных стержней. Это усилие содействует отрыву рабочего стержня от поперечной связи или вызывает поворот его вокруг точки связи с поперечной арматурой. Поэтому в момент разрушения колонны продольные стержни, обладая достаточно высокой потенциальной энергией, мгновенно выпучиваются, а иногда даже отрываются от поперечной арматуры [4].

5) Максимальное расстояние между хомутами не должно быть больше стороны сечения элемента, а минимальное – не менее самого малого размера бетонного ядра [4].

6) Определен параметр l , с учетом сопротивления выпучиванию стержня за счет отрыва защитного слоя от бетонного ядра и жесткости защитного слоя бетона, равной с некоторым приближением жесткости стержня, который характеризует оптимальный шаг хомутов из условия устойчивости продольных арматурных стержней [4]:

$$l = 8,4 \sqrt{\frac{2E_a J_a \delta}{\mu R_{np} d - 2R_p a}}$$

где $E_a J_a$ – жесткость арматурного стержня; δ – максимальное перемещение арматурного стержня в поперечном направлении; μ – коэффициент Пуассона; R_{np} – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию; d – номинальный диаметр арматурного стержня; R_p – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению; a – толщина защитного слоя бетона.

Таким образом, шаг хомутов в центрально и внецентренно сжатых элементах рекомендуется принимать, руководствуясь данной зависимостью и конструктивными требованиями, полученными из опытных данных;

7) по результатам испытаний Ф.П. Босовца, а также исследований других авторов, построены графики зависимостей прочности образца от величины относительного шага хомутов (рис. 5). Полученные графики указывают на то, что наибольшей несущей способностью обладают элементы, у которых отношение u/b (u – шаг хомутов, b – ширина прямоугольного сечения) равно или близко к единице;

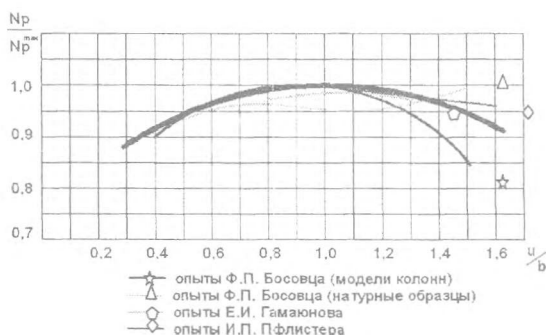


Рис. 5. Зависимость несущей способности колонн N_p/N_p^{max} от относительного шага хомутов u/b

8) из опытных данных получено, что часто расположенные хомуты значительно сдерживают продольные и поперечные деформации бетона. Резкое уменьшение предельных деформаций бетона защитного слоя приводит к нарушению его контакта с более деформируемым бетонным ядром. В результате этого защитный слой преждевременно выключается из работы.

Анализируя экспериментальные данные о степени влияния шага хомутов на устойчивость продольных стержней в сжатой колонне, в частности на несущую способность железобетонного элемента, можно сделать вывод о противоречивости полученных результатов и о необходимости дальнейшего изучения этого вопроса и подтверждения или опровержения экспериментальными данными. Поэтому для практического решения поставленных задач по данной теме предлагается использовать модели колонн натуральных размеров и укороченные образцы, выполненные из бетона либо из оргстекла со стальными стержнями, так как модули упругости на растяжение стекла ($E = 3,3 \cdot 10^3$ МПа) и бетона ($E = (2,0 - 3,0) \cdot 10^4$ МПа) имеют схожие значения. Такая модель позволила бы наглядно изучить

процесс деформирования стержней каркаса колонны (отличительным свойством оргстекла является прозрачность): определить форму деформирования, измерить перемещения в интересующих точках стержня, а значит подтвердить, или опровергнуть теоретические результаты.

Литература

1. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.И. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1985г.
2. Голышев, А.Б. Железобетонные конструкции / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук. Т. 2. – Киев: НИИСК Госстроя Украины, 2003. – 410 с.
3. Столяров, Я.В. Введение в теорию железобетона / Я.В. Столяров. – М. – Л., 1941. – 436 с.
4. Босовец, Ф.П. Экспериментально-теоретические исследования коротких аглопоритожелезобетонных колонн, армированных стержнями крупных диаметров: дис. канд. техн. наук / Ф.П. Босовец. Минск, 1983.

УДК 624.012

Авласко Е.В., Лазовский Д.Н., д-р техн. наук, проф.
(ПГУ, г. Новополоцк)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОПУСТОТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБА С КРУЧЕНИЕМ

Мировой вектор развития строительной отрасли в настоящее время направлен на широкое использование многопустотных железобетонных плит безопалубочного формования. Благодаря своей большой несущей способности, большому пролету и значительно лучшему качеству они все чаще применяются при строительстве различных зданий и сооружений.

Довольно часто в конструктивных элементах, работающих на изгиб, возникает кручение, обусловленное случайным эксцентриситетом, возникшим по причине асимметрии сечения, неоднородности материалов или внецентренного приложения вертикальной нагрузки [1]. Работа многопустотных железобетонных плит безопалубочного формования в условиях изгиба с кручением является малоисследованным направлением. Таким образом, вопрос о характере разрушения, несущей способности, трещино-