УДК 624.012.41

М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук, И.В.СИМЕЙКО, С.А.ВОРОБЬЕВА
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ЗАВИСИМОСТЬ ГИБКОСТИ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТОЕК ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Рассмотрен вопрос работы центрально и внецентренно сжатых железобетонных стержней, проанализирован характер их деформирования, рассмотрено влияние величины эксцентриситета приложения нагрузки на характер деформирования стержня.

Розглянуто питання роботи центрово та позацентрово стиснутих залізобетонних стержнів, проаналізовано характер їх деформування, розглянуто вплив величини ексцентриситету прикладення навантаження на характер деформування стержня.

The question of work of centrally and eccentric-compressed reinforced concrete bars is considered, character of their deformation is analysed, influence of size of excentricity of appendix of loading on character of deformation of bar is considered.

Ключевые слова: устойчивость, несущая способность, железобетонные стойки, центральное сжатие, внецентренное сжатие.

Устойчивость сжатых элементов, в том числе железобетонных, оказывает значительное влияние на их прочность и деформативность. Поэтому важным при расчете здания или сооружения является учет устойчивости сжатых стержней при их работе в конструкциях.

Опасность потери устойчивости таких элементов заключается в том, что обычно она наступает внезапно. Почти до наступления критического значения сжимающей силы, действующей на стойку, деформации сооружения в этот момент не вызывают опасения. Далее ряд обстоятельств – эксцентриситет нагрузки, начальная кривизна стержня, местные повреждения материала – может весьма снизить сопротивление сжатых стержней, в том числе железобетонных, в то время как те же факторы почти не отражаются на работе других элементов конструкции.

В современной строительной механике различают устойчивость I и II рода [1-3].

Потеря устойчивости I рода для сжатого стержня сопровождается возникновением нового вида деформации – изгиба вместо сжатия – имевшего место до наступления критической величины нагрузки. Фундаментальные работы в этой области были заложены Л.Эйлером, который, продифференцировав уравнение изогнутой оси стержня, получил значение критической силы для центрально сжатого шарнирно опертого элемента (рис.1, *а*):

$$F_{кр} = \pi^2 EI_{\min} / l^2 , \qquad (1)$$

где $EI_{\min}$ – жесткость сечения; l – длина элемента.

Для других способов закрепления концов стержня полученная формула будет отличаться длиной $l_{пр}$, которую можно интерпретировать как некоторую условную длину шарнирно опертого по концам стержня.

Так, для случая защемления нижнего конца стержня и шарнирного опирания верхнего его конца, изогнутая ось стержня будет иметь точку перегиба, расположенную на расстоянии $l/3$ от нижнего конца. Таким образом, чтобы свести рассматриваемый стержень к шарнирно опертому, нужно взять длину, равную $0{,}7l$ (рис.1, *б*).

Для стержня, защемленного на обоих концах, при потере устойчивости упругая линия имеет две точки перегиба, расположенные в четвертях. Поэтому коэффициент приведенной длины берется 0,5 (рис.1, *в*).

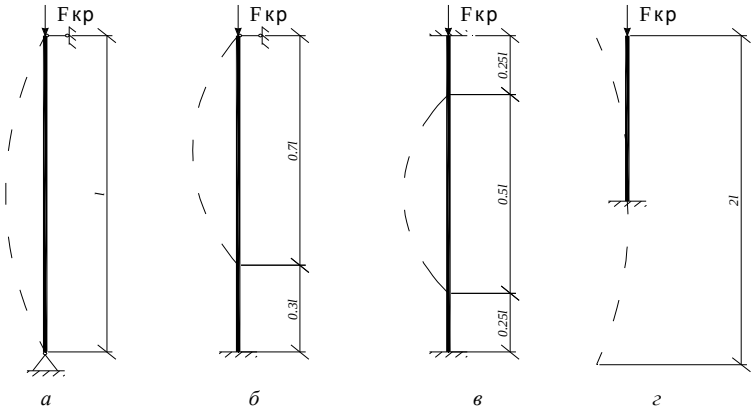

Рис. 1 – Значение приведенной длины для сжатых стержней при различных способах загружения

При потере устойчивости консольного стержня, верхний конец отклоняется на некоторую величину, нижний конец при этом остается вертикальным. Для получения полного соответствия с шарнирно опертым стержнем продолжим мысленно изогнутую ось стержня вниз. Тогда приведенная длина равняется $2l$.

Следует отметить, что формула Эйлера получена в пределах действия закона Гука, и распространяется только на область упругих деформаций материала.

Потеря устойчивости II рода происходит в результате чрезмерно-

го развития первоначального вида деформаций – изгиба – без перехода в новый вид. Рассматривая изгиб сжато-изогнутых стержней в пределах упругости, можно заметить, что при достижении сжимающей силой Эйлеровой величины прогибы их обращаются в бесконечность, что происходит вследствие использования приближенного дифференциального уравнения изгиба, справедливого лишь при малых прогибах (рис.2, кривая *а*). Если использовать точное дифференциальное уравнение, то кривая зависимости между величиной сжимающей силы *F* и прогибом *f* получится такой, как показано на рис.2, кривая *б*. Если напряжения в стержне превзойдут предел упругости, то кривая *F-f* в некоторой точке начнет опускаться. Точка *A* определяет критическое состояние стержня, при достижении которого нарастание деформаций происходит без увеличения нагрузки и даже при ее уменьшении, то есть возникает явление потери устойчивости (рис.3).

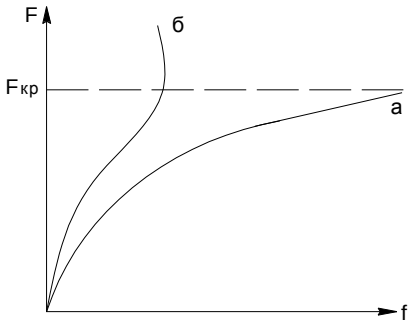

Рис.2 – Кривая *P* = *P*(*f*) для идеального упругого сжато-изогнутого стержня при: *а* – приближенном выражении кривизны; *б* – точном.

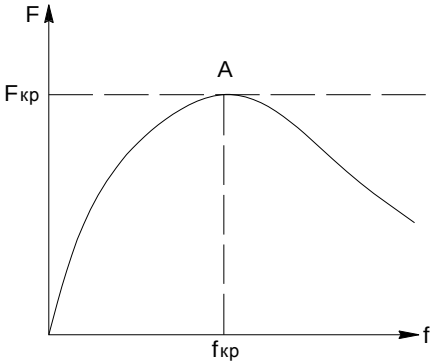

Рис.3 – Кривая *P* = *P*(*f*) для реального сжато-изогнутого стержня

Таким образом, отличие в работе сжато-изогнутого стержня от работы центрально сжатого заключается в возникновении и развитии в первом элементе деформаций с самого начала приложения нагрузки. В то же время, если исходить из определения потери устойчивости как явления, которое соответствует началу нарушения равновесия между внутренними и внешними силовыми факторами, то принципиальное различие между устойчивостью I и II рода исчезнет – критические силы I и II рода будут являться границами значений сил, при которых невозмущенная форма равновесия остается устойчивой.

Если говорить о возможности потери устойчивости внецентренно сжатых стержней в упругой стадии, то работа А.В.Геммерлинга [2] показывает, что, например, для стального двутаврового сечения гибкостью $\lambda = 200$ наибольшая величина эксцентриситета в плоскости стенки, при которой потеря устойчивости происходит в упругой стадии, равна e_0=0,0002214h. Следовательно, для подавляющего большинства стержней из металла и других строительных материалов потеря устойчивости происходит в упруго-пластической стадии работы.

В железобетонных стержнях, для которых даже в лабораторных условиях очень трудно воспроизвести идеальное центральное сжатие, по причине неоднородности бетона, отклонений в расположении арматуры, условий изготовления элементов и других классическая (Эйлерова) потеря устойчивости практически невозможна. Об этом свидетельствуют многочисленные эксперименты с железобетонными и бетонными стойками и элементами.

Проведенные различными исследователями эксперименты показывают, что в зависимости от гибкости элемента, класса бетона, класса арматурной стали, коэффициента армирования и эксцентриситета приложения сжимающей нагрузки вышеуказанный процесс нарушения равновесия может протекать по-разному: наступление предельного состояния в бетоне либо арматурной стали или наступление предельного состояния одновременно в обоих компонентах элемента.

Данный вид потери устойчивости деформирования, по сути, является потерей прочности.

Однако, в достаточно гибких железобетонных стойках, тонкостенных пространственных системах имеют место случаи, когда напряжения в сжатом бетоне и арматуре далеки от предельных, а конструкция перестает сопротивляться внешней нагрузке, т.е. происходит потеря устойчивости в классическом виде, хотя и вид деформации не меняется.

Ни рис.4 показаны возможные соотношения между значениями критических нагрузок и нагрузок, соответствующих нормативному

предельному состоянию железобетонных элементов по условиям прочности.

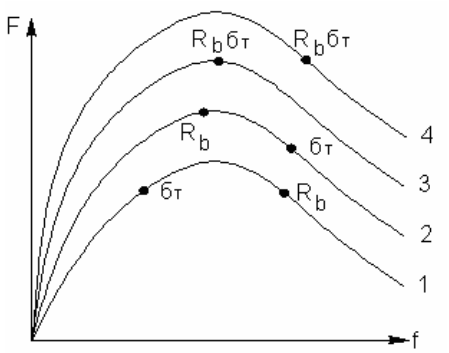

Рис. 4 – Возможные случаи исчерпания несущей способности гибкими сжато-изогнутыми железобетонными стержнями:
1 – первый случай внецентренного сжатия; 2 – второй случай внецентренного сжатия; 3 – граничный случай между первым и вторым; 4 – весьма гибкие стержни.

Кривая 1 (рис.4) соответствует случаям потери несущей способности стержнями малой и средней гибкости при сравнительно небольших эксцентриситетах, малых и средних процентах армирования и случаям больших эксцентриситетов. Появление трещин в растянутой зоне вызывает резкое увеличение напряжений в растянутой арматуре, снижение жесткости, а следовательно, увеличение прогибов и соответственно изгибающих моментов. После достижения напряжениями в арматуре предела текучести скорость протекания описанного процесса возрастает, и с определенного момента, который соответствует критической нагрузке, он идет даже при уменьшающейся силе *F*. При этом за счет ускоренного роста прогибов величина изгибающего момента растет, напряжения в сечении железобетонного элемента перераспределяются с арматуры на бетон и достигают в последнем предела прочности, т.е. наступает разрушение. Оно относится уже к нисходящей ветви диаграммы состояния конструкции. Разрушением железобетонного элемента (кроме случая разрыва растянутой арматуры) принято считать процесс разрыхления бетона в сжатой зоне.

Кривая 2 (рис.4) соответствует случаю, когда разрушение сжатой зоны бетона вызывает значительное уменьшение жесткости элемента, приводящее к потере устойчивости. Момент разрушения сжатой зоны и момент потери устойчивости практически совпадают. Это относится к случаю, соответствующему малым эксцентриситетам и сравнительно большим процентам армирования. Как показывают исследования,

процесс деформирования протекает спокойно до момента достижения напряжениями в сжатом бетоне значений близких к предельной величине. Затем его скорость существенно увеличивается, т.е. малому приращению нагрузки соответствуют довольно большие приращения прогибов. Это вызвано тем, что жесткость вследствие частичного выключения из работы сжатой зоны бетона, а, следовательно, перераспределения усилий со сжатого бетона на сжатую и растянутую арматуру и соответствующего роста деформаций, резко падает. Наступает лавинообразный процесс, на нисходящей ветви которого происходит рост изгибающих моментов (за счет прогибов), приводящий к текучести либо разрыву арматуры.

Граничным случаем между описанными является такой (кривая 3, рис.4), когда одновременное наступление предельных значений напряжений в сжатом бетоне и растянутой арматуре совпадает с моментом потери устойчивости.

Наконец, для весьма гибких колонн при малых эксцентриситетах предельные характеристики и в бетоне, и в растянутой арматуре могут достигаться уже после потери устойчивости, т.е. на нисходящей ветви (кривая 4, рис. 4).

В работах [4, 5] показано, что классическая потеря устойчивости для гибких внецентренно-сжатых железобетонных стержней возможна лишь при начальных эксцентриситетах $e_0 \leq 0,4h$ (где h – высота поперечного сечения стержня), а при $e_0 > 0,4h$ для элементов любой гибкости потеря несущей способности вызывается достижением в арматуре и (или) бетоне предельных характеристик.

Таким образом, рассмотренные случаи показывают характер поведения и способы исчерпания несущей способности железобетонных элементов при сжатии. Несмотря на успехи, достигнутые в рассматриваемой области благодаря работам В.М.Бондаренко, А.В.Геммерлинга, А.Б.Голышева, Э.Д.Чихладзе [1-3,6] и др., целый ряд вопросов требует дальнейшего развития и уточнения. Например, проведенный в данной работе обзор исследований устойчивости относится к стержням сжатым силами с одинаковыми и в одну сторону направленными эксцентриситетами. Гибкие стержни с другими схемами загружения изучены недостаточно. Также мало изучен характер изменения жесткости по длине элемента и его влияние на деформативность стержней. Поэтому проведенный анализ свидетельствует о необходимости дальнейшего проведения экспериментальных и теоретических работ в указанной области, а также поиска методов повышения устойчивости железобетонных стоек.

1.Бондаренко В.М., Чихладзе Э.Д. К расчету устойчивости гибких железобетонных статически неопределимых стержней // Межотраслевые вопросы строительства: реф. сб. – М., 1970. – Вып. 5. – С.22-26.

2.Геммерлинг А.В. Несущая способность стержневых стальных конструкций. – М.: Госстойиздат, 1958. – 66 с.

3.Голышев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П. Железобетонные конструкции. Т.2. – К.: НИИСК Госстроя Украины, 2003. – 410 с.

4. Золотов М.С., Симейко И.В. Несущая способность и деформативность гибких железобетонных стержней // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.72. – К.: Техніка, 2006. – С.343-347.

5.Золотов М.С., Симейко И.В. Виды исчерпания несущей способности стержней при сжатии // Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.15. – Рівне: НУВГП, 2007. – С.168-173.

6.Чихладзе Э.Д. Сопротивление материалов. – Харьков: УкрГАЖТ, 2002. – 362 с.

Получено 14.04.2011

УДК 691 : 620.1

А.Н.ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАСАДНЫХ ГРАНИТНЫХ ПЛИТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КУЛЬТУРНО-КОММЕРЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В г.ХАРЬКОВЕ

Приведены результаты исследований физико-механических характеристик импортного искусственного гранита, используемого в качестве отделочного фасадного материала при строительстве культурно-коммерческого комплекса в г.Харькове.

Наведено результати досліджень фізико-механічних характеристик імпортного штучного граніту, що використовується як оздоблювальний фасадний матеріал при будівництві культурно-комерційного комплексу в м.Харкові.

Results of investigations of physical and mechanical characteristics of imported artificial granite, used as a finishing cladding material in the construction of cultural and commercial complex in Kharkov.

Ключевые слова: искусственный гранит, испытания, прочность, сжатие, растяжение, изгиб, влагопроницаемость, температурное расширение.

При строительстве культурно-коммерческого комплекса в г.Харькове по ул.Сумской, 10 в качестве наружного фасадного отделочного материала был запроектирован гранит, входящий в комплексную систему вентилируемых фасадов (автор проекта В.А.Дроздов). На строительную площадку поступил от заказчика импортный отделочный материал китайского производства, именуемый гранитом, без соответствующих сопроводительных документов и сертификатов.

Потребовалось выполнить специальные лабораторно-диагностические исследования для определения простейших физико-механических характеристик поставляемых отделочных гранитных плит и