

УДК 624.012.41

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕННЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**COMPUTER STRUCTURAL ANALYSIS OF THE DAMAGED
REINFORCE-CONCRETE COLUMNS OF ROUND SECTION WITH THE
USE OF METHOD OF EVENTUAL ELEMENTS**

Клименко Е.В., д.т.н., проф., Сольдо Б, д.ф., проф., Орешкович М., асп.
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса;
Политехнический университет, г. Вараждин, Хорватия)

**Klimenko Y.V., doctor of technical sciences, professor, Soldo B., PhD,
professor, Oreskovich M, PhD student** (The Odessa State Academy of Building
and Architecture, Odessa, Polytechnic university, Croatia, Varazhdin)

В статье анализируется несущую способность поврежденных железобетонных колонн круглого сечения с помощью программного комплекса на основе метода конечных элементов. Получены параметры напряженно-деформированное состояние, на основании чего разработаны предпосылки расчета таких элементов.

In the article analysed bearing strength of the damaged reinforce-concrete columns of round section by a programmatic complex on the basis of method of eventual elements. Parameters are got the tense-deformed state, what pre-conditions of calculation of such elements are developed on the basis of.

Сжатые железобетонные конструкции круглого поперечного сечения имеют ряд преимуществ, а именно: рациональное очертание; высокую несущую способность; хорошее сопротивление физическому износу. Исходя из этого, такие конструкции все чаще применяются в виде колонн многоэтажных зданий, опор мостов и эстакад, других сильно нагруженных элементов. В будущем прогнозируется расширение области применения колонн круглого поперечного сечения.

Как и все конструкции, в процессе эксплуатации железобетонные конструкции подвергаются износу. Наиболее часто встречающимся повреждением сжатых элементов есть: коррозия арматуры и повреждение бетона. Как показали исследования [1], повреждение бетона в процессе коррозии происходит с разрушением его и изменением части поперечного сечения. При этом, оставшийся бетон практически не меняет своих физико-механических характеристик, разрушенный бетон – не учитывается в работе по восприятию продольной силы, тонким переходным слоем (фронт

разрушения) можно пренебречь в виду его малости.

При повреждении части сечения элемента возникает сложное напряженное состояние – косо внецентренное сжатие. Действующие [2] и предыдущие [3] нормы дают рекомендации по расчету сжатых элементов, в том числе и разработанных на основании исследований [4] случаев косо внецентренного сжатия. Однако, в работе [4] не рассматривается круглое сечение, поскольку для неповрежденных элементов такого профиля сложное напряженное состояние не возникает. В Одесской государственной академии строительства и архитектуры совместно с Вараждинским политехническим университетом (Хорватия) проводятся комплексные исследования работы поврежденных железобетонных конструкций [5].

Исследования напряженно-деформированного состояния поврежденных элементов являются актуальной и важной задачей. Не менее актуальной задачей является создание и экспериментально-теоретическое обоснование методики расчета таких элементов.

На основании анализа априорной информации из литературных источников с учетом реальной возможности осуществления в качестве факторов варьирования приняты:

- глубина повреждения b ;
- эксцентриситет приложения силы e_0 ;
- угол между силовой плоскостью и главной осью сечения γ .

Для изучения данного вопроса было изготовлено и испытано 15 опытных образцов с заранее смоделированными повреждениями.

На рис. 1 показаны вид и армирование поврежденного образца.

Для определения параметров напряженно-деформированного состояния проводилось численное моделирование в программном комплексе ANSYS.

Образец моделировался как объект из 13 твердых тел: одно тело бетона и 12 тел арматуры (6 продольных стержней и 6 хомутов). В модели создано 1160694 узлов и 772870 элементов.

Геометрия и свойства материала:

- объем – $60,8 \text{ дм}^3$;
- масса – $144,68 \text{ кг}$;
- предел прочности стали на растяжение – 460 МПа , предел текучести при растяжении – 250 МПа , модуль Юнга – 200 ГПа , коэффициент Пуассона – $0,3$;
- прочность бетона на сжатие – 40 МПа , модуль Юнга – 30 ГПа , коэффициент Пуассона – $0,18$.

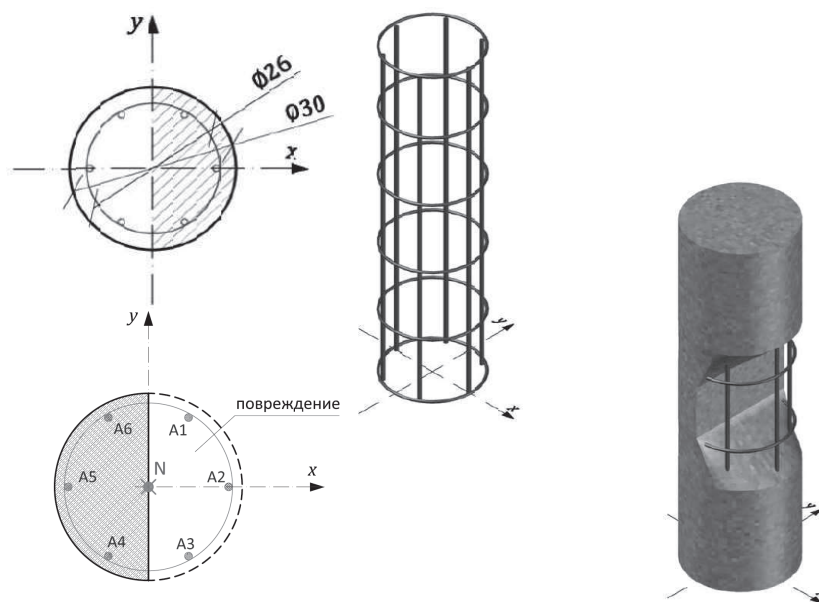


Рис. 1. Опытные образцы поврежденных колонн.

Одной из главных задач программирования было установление хорошей связи между объектами (или поверхностями). Роль группы подключения и обеспечение с возможностью автоматического создания связи выполняли Шарнир или Сетка. Связи создавались при условии, что сборка импортируется в программе и комплекс обнаруживает, что два отдельных органа (сплошные, поверхностные и линейные органы) касаются друг друга. Поскольку, физически контактирующие тела не взаимопроникают, программа должна установить связь между двумя поверхностями, чтобы предотвратить их от прохождения через друг друга. В случае когда программа предотвращает взаимопроникновение, это обеспечивает „совместимость контакта“ (рис. 2).

Для того, чтобы применять совместимость на контактный интерфейс, „Workbench Mechanical“ предлагается несколько различных контактных формулировок, которые определяют метод решения:

- связь – контактные зоны связаны. В этом случае нет скольжения или разделения между гранями (краями). Этот тип контактов позволяет линейно решить задачу, поскольку контакт длина / область не будет применяться во время приложения нагрузки;
- нет разделения – разделение геометрии в контактных не допускается,

но в небольших количествах трения скольжения может происходить по контактных поверхностях;

- без трения – этот параметр модели стандартный. Односторонний контакт, то есть нормальное сжатие, равно нулю;
- грубый – подобно „нет разделения“. Эта настройка модели грубого фрикционного контакта, где нет скольжения;
- фрикционная – в этих условиях две контактирующие геометрии могут иметь касательные напряжения до определенной величины прежде чем начать скольжения относительно друг друга.

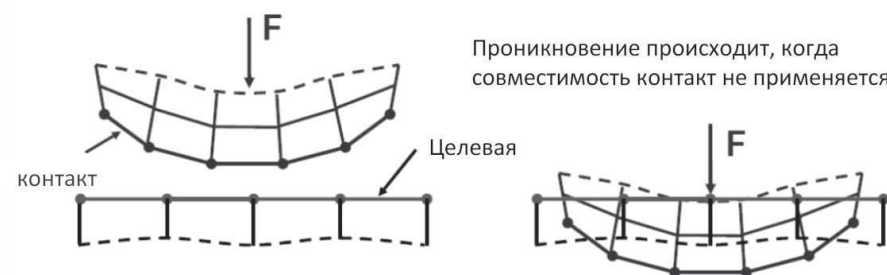


Рис. 2. Условие не проникновения элементов в модели.

В других случаях, чтобы получить линейный анализ „связь“ соединение прикладывается между всех частей модели.

Математические модели была созданы в мелкой сетке на переходах между материалами и контактами. Это сделано для более точного расчета напряжений и деформаций, которые будут возникать в этих местах (рис. 3).

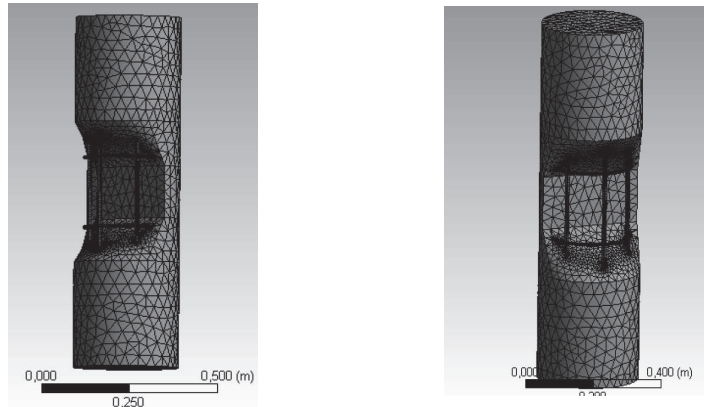


Рис. 3. Моделирование конечных элементов.

В результате выполненного численного эксперимента получены (для каждого опытного образца) поля деформаций (рис. 4) и напряжений (рис. 5) в упругой постановке задачи.

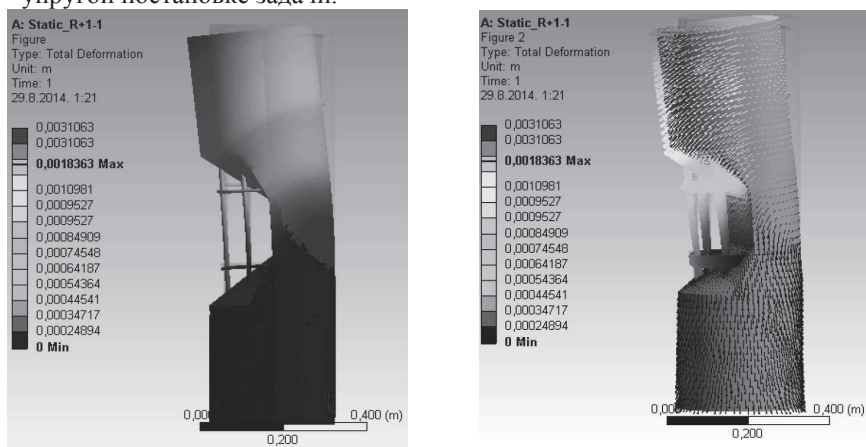


Рис. 4. Поля деформаций в опытных образцах.

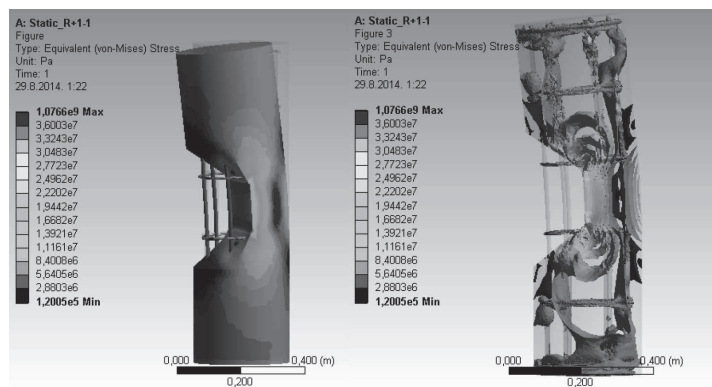


Рис. 5. Поля напряжений в опытных образцах.

Установлено, что максимальные напряжения наблюдаются в оголенных стержнях в центральной части бетона. В верхней части колонны наиболее высокие напряжения находятся в средней части образца, особенно в продольных стержнях там, где нет бетона.

Получены также значения об общих деформациях колонн (рис. 6).

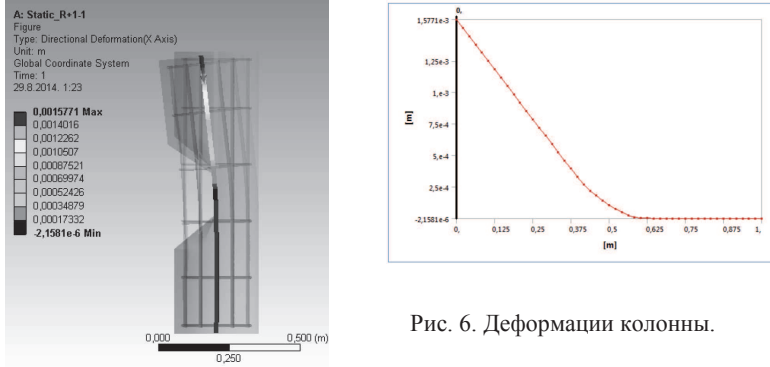


Рис. 6. Деформации колонны.

Основываясь на результатах численного эксперимента, были сформулированы некоторые предпосылки расчета:

1. Принимается гипотеза плоских сечений.
2. Фронт повреждения имеет прямолинейное очертание.
3. Напряжения в арматуре определяются в зависимости от относительной высоты сжатой зоны бетона и расстояния от стержня к нейтральной оси.
4. Нейтральная ось имеет прямолинейное очертание.

Выводы. В ходе моделирования работы железобетонных сжатых элементов круглого поперечного сечения, получивших повреждения в процессе эксплуатации, определены основные параметры их напряженно-деформированного состояния. Это дало возможность сформулировать и обосновать ряд предпосылок расчета остаточной несущей способности элементов. В дальнейшем на этой основе будет разработан аналитический метод расчета прочности внецентренно сжатых круглых колонн с повреждениями.

1. Бліхарський З.Я. Залізобетонні конструкції в агресивному середовищі за дії навантаження та їх підсилення: монографія / З.Я. Бліхарський – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 296 с.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. / Мінрегіонбуд України. –К., 2009. –97 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 2.03.01-84*. – [Чинні від 1984-08-20]. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 80 с.
4. Горяник М.С. Косоое внецентренное сжатие и косоой изгиб в железобетоне / Торьяник М.С. – К.: Госстройиздат УССР, 1961. – 156 с.
5. Клименко Е.В. К вопросу определения остаточной несущей способности поврежденных железобетонных элементов // Е.В. Клименко / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. / Одеська державна академія будівництва та архітектури, –Одеса: ОДАБА, 2013. – Вип. 52, –С. 107-113.