

УДК 624.012.2

ОБЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*д.т.н., проф. Клименко Е.В., магистр Крутько Т.А., аспирант Исмаель А.М.
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Постановка проблемы. Одной из самых существенных частей национального богатства страны есть основные фонды. Они постоянно пополняются и обновляются. Однако, экономическая эффективность хозяйственного комплекса существенно зависит от качества технической эксплуатации основных фондов, к которым относятся также и здания и сооружения.

В связи с этим остро стоит проблема оценивания технического состояния существующих строительных конструкций, получивших повреждения в процессе эксплуатации. Достоверное определение их несущей способности, с одной стороны, позволит предотвратить возникновение аварийных ситуаций, а с другой – полностью использовать оставшуюся несущую способность несущих элементов.

Связь с научными и практическими направлениями и анализ последних исследований и публикаций. Проведенные в ОГАСА комплексные исследования остаточной несущей способности поврежденных железобетонных сжатых и изгибаемых конструкций напрямую связаны и отвечают актуальным направлениям научно-технической политики Украины согласно Постановлению Кабинета Министров Украины от 05.05.1997 г. № 409, общегосударственной межотраслевой программе „Ресурс“ и её разделу „Строительство“. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы „Науково-технічна оцінка бетонних і залізобетонних стиснутих конструкцій, пошкоджених в процесі експлуатації“ (№ государственной регистрации 0113U000053), разработка которой выполняется на кафедре строительных конструкций.

Широкомасштабные исследования [1] показали, что для железобетонных конструкций одним из наиболее распространенных повреждений есть разрушение части поперечного сечения и изменение его по сравнению с проектным. При этом в железобетонных элементах происходит изменение напряженного состояния. В случае, когда фронт повреждения не параллелен ни одной из главных осей поперечного сечения сжатого или не перпендикулярен плоскости изгиба изгибаемого элемента, имеет место сложное напряженное состояние, а именно: косое внецентренное сжатие или косой изгиб.

Существующая методика расчета железобетонных конструкций по первой группе предельных состояний [2] имеет довольно высокую надежность и базируется на экспериментально-теоретических исследованиях, проведенных для центрально и внецентренно сжатых элементов (в случае плоского внецентренного сжатия) и плоского изгиба. Рекомендации по поводу расчета несущей способности внецентренно кососжатых и

косоизгибаемых железобетонных элементов в действующих нормах отсутствуют. Такие рекомендации приведены в ранее действующих нормах [3]. Эти положения расчета базируются на широком круге экспериментально-теоретических исследований кососжатых и косоизгибаемых железобетонных элементов, проведенных Полтавской школой исследователей [4]. Однако, в этих исследованиях рассматривались только неповрежденные (как правило симметричные) сечения, а расчетный эксцентриситет прикладывался к сечению в направлении обеих осей.

Работа железобетонных конструкций, у которых косое внецентренное сжатие или кривой изгиб реализуется в результате повреждения (несимметричного относительно главных осей поперечного сечения), в настоящее время проводится в Одесской государственной академии строительства и архитектуры [5...11].

Формулирование целей статьи. Целью статьи есть создание основ общего аналитического метода расчета несущей способности железобетонных изгибаемых и сжатых элементов различного профиля конструкций, поврежденных в процессе эксплуатации.

Изложение основного материала исследований.

В ходе исследований проводился численный и натурный эксперименты.

Для статистической достоверности полученных результатов выполнялось планирование эксперимента. Для каждого вида исследований (сжатые или изгибаемые элементы) и для каждого типа профиля (прямоугольный, тавровый, двутавровый или круглый) составлялся трёхфакторный, трёхуровневый план. Этому соответствовало 15 опытных образцов. В некоторых сериях количество образцов увеличивалось до 17 за счет изготовления и испытания трёх элементов-близнецов.

Варьируемыми факторами были, как правило, параметры повреждения (глубина его и угол наклона фронта повреждения к главной оси неповрежденного сечения) и один из факторов, существенно, влияющих на работу элемента (процент армирования, относительный эксцентриситет и т.п.).

В ходе проведения натурального эксперимента устанавливалась несущая способность поврежденного бетонного или железобетонного элемента; относительные деформации бетона (посредством тензодатчиков базой 50 мм) и арматуры (тензорезисторы с базой 20 мм); прогибы изгибаемых балок. Общий вид испытаний сжатых и изгибаемых элементов показан на рис. 1.

Моделирование работы поврежденных железобетонных конструкций выполнялось в расчетном комплексе „ЛИРА 9.6“. Построение расчетной схемы осуществлялось путем создания модели образца из объемных конечных элементов. Арматурный каркас задавался физически нелинейными пространственными стержневыми конечными элементами (КЭ) 210 типа. Бетон задавался физически нелинейным универсальным пространственным 8-узловым изопараметрическим КЭ 236 типа с размером грани от 1 до 2 см. Количество конечных элементов в схеме порядка 10 тыс. Расчет производился с учетом нелинейного деформирования материалов. Для арматуры принимался кусочно-линейный закон деформирования №14, в

основу которого положена диаграмма Прандтля с физическим пределом текучести. Для бетона принимался аналогичный закон деформирования №14, в основу которого заложена нелинейная диаграмма для сжатого бетона σ - ε с ниспадающей кривой и для растянутого бетона. Анализ моделирования показал неоднозначность возможности применения комплекса для достоверного расчета поврежденных элементов. Так, для сжатых железобетонных прямоугольных элементов с относительно малыми эксцентриситетами наблюдалось довольно хорошее схождение с экспериментом (коэффициент вариации равнялся 0,055). Несущая способность образцов с эксцентриситетом приложения силы $e_0 = 0,25$ м отличается от результатов, полученных при натурном эксперименте в несколько раз.

Выходом из создавшейся ситуации есть разработка аналитического метода расчета несущей способности поврежденных железобетонных элементов, базирующийся на обоснованных предпосылках.



Рис. 1. Испытание опытных конструкций

Разработанный метод расчета основывается на основных положениях действующих норм [2] и расширяет их действие на случай, когда часть сечения разрушена и не принимает участия в работе. При этом принимаются следующие предпосылки и допущения.

1. Принимается гипотеза плоских сечений, т.е. после деформирования сечения остаются плоскими, а по высоте сечения деформации изменяются по линейной зависимости.

2. Сопротивление бетона растяжению принимают равным нулю, усилия

в растянутой зоне полностью воспринимаются арматурой.

3. Сопротивление бетона сжатию представляется напряжениями, равными f_{cd} и равномерно распределенными по сжатой зоне бетона.

4. Напряжения в арматуре определяют в зависимости от высоты сжатой зоны бетона.

5. Растягивающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления растяжению f_t .

6. Сжимающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления сжатию f_{yd} .

Для каждого случая расчета составляется (с учетом вышеизложенных предпосылок) необходимое количество уравнений. Так, для случая внецентренного сжатия железобетонного элемента прямоугольного сечения с косым повреждением (когда фронт повреждения не параллелен ни одной главной оси) рассматривается пять уравнений:

1. Уравнение равновесия относительно оси x .
2. Уравнение суммы моментов относительно оси x .
3. Уравнение суммы моментов относительно оси y .
4. Статический момент сжатой зоны бетона, относительно оси x .
5. Статический момент сжатой зоны бетона, относительно оси y .

Совместное решение системы уравнений даёт возможность определить остаточную несущую способность поврежденного в процессе эксплуатации бетонного или железобетонного элемента, а значит, оценить возможность его дальнейшей нормальной эксплуатации или необходимость усиления.

Для изгибаемых элементов (без расчетной арматуры в сжатой зоне) система упрощается, поскольку нет необходимости определять напряжения в каждом отдельном стержне. Но в этом случае возникает необходимость проверки переармированности изгибаемого элемента и в случае, если $\xi > \xi_R$ это следует учитывать в расчете.

Обсуждение результатов. Созданный на основании основных положений действующих норм и расширяющий их действие на работу поврежденных изгибаемых и сжатых элементов, расчет определения остаточной несущей способности позволяет выполнять расчеты с достаточной точностью. Коэффициент вариации отклонения расчетной прочности от экспериментальной колеблется в пределах 8...12%.

В каждом конкретном случае расчета на основании принятых предпосылок и уравнений равновесия определяются неизвестные: вспомогательные (угол наклона нейтральной оси, высота сжатой зоны, условие параллельности или совпадения силовых плоскостей и др.) и цель расчета – несущая способность элемента (сжимающая сила – для сжатых и изгибающий момент – для изогнутых конструкций).

Выводы. Предлагаемый аналитический метод определения несущей способности изгибаемых и сжатых элементов различного профиля конструкций, поврежденных в процессе эксплуатации, может использоваться в практике эксплуатации для установления технического состояния отдельных конструкций и зданий и сооружений в целом, а также при проектировании усиления строительных систем. В дальнейшем необходимо

реализовать общий метод расчета для отдельных случаев работы конструкций.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

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. Бетонні та залізобетонні конструкції (II-а ред): ДБН В.2.6.-2011. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 101 с. (Державні будівельні норми України).
3. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 2.03.01-84*. –[Чинний від 1984-08-20]. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 80 с.
4. Торяник М.С. Косое внецентренное сжатие и кривой изгиб в железобетоне / Торяник М.С. – К.: Госстройиздат УССР, 1961. – 156 с.
5. Клименко Е.В. К вопросу о расчете прочности поврежденных изгибаемых железобетонных элементов // Е.В. Клименко, Е.А. Остра / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2010. –Вип.20. –С. 481-486.
6. Клименко Е.В. До питання про роботу пошкоджених залізобетонних конструкцій // С.В.Клименко, М.В.Мельник / Вісник Одеської державної академії будівництва та арх-тектур. / Одеська державна академія будівництва та архітектури, –Одеса: ОДАБА, 2010. – Вип.39, ч. 1 –С. 337-342.
7. Клименко Е.В. Экспериментальные исследования работы поврежденных сжатых бетонных элементов // Е.В. Клименко, Г.М. Мустафа / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2011. –Вип.22. –С. 808-813.
8. Клименко Е.В. Характер руйнування пошкоджених таврових балок // С.В.Клименко, О.С. Чернева, А.І. Мохаммед / Вісник Нац. ун-ту „Львівська політехніка“ „Теорія і практика будівництва“. – 2013. – № 755. – С. 179-183.
9. Клименко Е.В. Расчет поврежденных железобетонных колонн // Е.В. Клименко, Т.А. Дуденко / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць / Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2013. –Вип.27. –С. 448-453.
10. Клименко Е.В. Результаты экспериментальных исследований поврежденных железобетонных колонн круглого сечения // Е.В. Клименко, М. Орешкович, Т.М. Гульчук / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. / Одеська державна академія будівництва та архітектури, – Одеса: ОДАБА, 2013. – Вип.51, – С. 129-141.
11. Клименко Е.В. Поврежденные бетонные сжатые конструкции: работа, расчет: монография // Е.В. Клименко, Г.М. Мустафа / Одесса: Одесский нац. ун-т им. И.И. Мечникова, 2014. – 169 с.