

Клименко Евгений Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (г. Одесса, Украина)

Полянский Константин Валериевич, аспирант, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (г. Одесса, Украина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

© РУП «Институт БелНИИС», 2019

Institute BelNIIS RUE, 2019

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований несущей способности наклонных сечений железобетонных балок с повреждениями в сжатой зоне бетона в виде сколов. Испытано 16 однопролетных свободно опертых образцов с размерами 100х200х1200 мм и рабочим пролетом 1000 мм. Нагрузка приложена в виде сосредоточенной силы на расстоянии пролета среза 1d, 2d и 3d. Материалы, использованные для изготовления образцов – бетон класса C25/30, рабочая продольная арматура класса A500C Ø18 мм, поперечная арматура в виде хомутов и сжатая продольная арматура класса A240C Ø6 мм. Искусственные повреждения закладывались у одной грани глубиной 0 мм, 50 мм и 100 мм, углом наклона 0°, 30° и 60°. Все экспериментальные образцы разрушены по наклонному сечению. В ходе теоретического анализа полученных данных определено, что такого вида повреждения ведут к снижению несущей способности и изменению напряженно деформированного состояния – нейтральная ось наклоняется относительно действия силовой плоскости, предельные деформации бетона увеличиваются, а поперечной арматуры уменьшаются. Уменьшение величины пролета среза от 3d до 1d ведет к значительному увеличению несущей способности,

уменьшению предельных деформаций бетона и поперечной арматуры. Проанализировано, что среди исследуемых факторов наибольшее влияние имеет пролет среза, глубина повреждения в меньшей степени, а угол наклона повреждения влияет наименьшим образом. Предложена усовершенствованная методика определения остаточной несущей способности наклонных сечений поврежденных прямоугольных балок, максимальная разница с экспериментальными данными составила 28,13 %, коэффициент вариации v составил 10,3 %.

Ключевые слова: повреждения железобетона, пролет среза, остаточная несущая способность, предельные деформации, наклон нейтральной оси, разрушение, метод расчета.

Для цитирования: Клименко, Е. В. Экспериментальное и теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния и несущей способности наклонных сечений поврежденных железобетонных балок прямоугольного сечения / Е. В. Клименко, К. В. Полянский // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 147–163. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-10>

Yevhenii Klymenko, DSc in Engineering Science, Professor, Head of department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine)

Kostiantyn Polianskyi, Postgraduate, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine)

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN STATE AND BEARING CAPACITY OF THE INCLINED SECTIONS OF DAMAGED REINFORCED CONCRETE BEAMS OF RECTANGULAR CROSS-SECTION

ABSTRACT

The article reports on the results of the experimental studies to determine the residual bearing capacity of inclined sections of reinforced concrete beams

with concrete damages in compressed zone. 16 single-span freely supported experimental samples with dimensions of $100 \times 200 \times 1200$ mm and the working span is 1000 mm were tested. The acted load on the samples was applied as a concentrated force at a shear span of 1d, 2d and 3d. Materials used for make samples are – concrete of grade C25/30, working longitudinal reinforcement of grade A500C $\varnothing 18$ mm, constructive longitudinal reinforcement and transverse reinforcement in the form of vertical links – $\varnothing 6$ mm of grade A240C. Artificial damages was lied at one edge of a depth of 0 mm, 50 mm and 100 mm, and with a tilt angle of 0° , 30° and 60° . All experimental samples are destroyed in inclined section. During the theoretical analysis of the data obtained, it was determined that this type of damage leads to a decrease in the residual bearing capacity and a changes in the stress-strain state - the neutral axis is tilted relative to the action of the force plane, the ultimate deformations of concrete increase, and the transverse reinforcement decreases. A decrease in the cut-off span from 3d to 1d leads to a significant increase in the bearing capacity, a decrease in the ultimate deformations of the concrete and transverse reinforcement. It is analyzed that among the studied factors, the shear span has the greatest influence, the depth of damage is less, and the angle of damage inclination influences the least.. An improved method for determining the residual bearing capacity of inclined sections of damaged rectangular beams is proposed, the maximum difference with experimental data was 28,13%, the coefficient of variation v was 10,3%.

Keywords: damages in reinforced concrete, shear span, residual bearing capacity, limit deformations, tilt of the neutral axis, destruction, method of calculation.

For citation: Klymenko Y., Polianskyi K. Experimental and theoretical investigation of stress-strain state and bearing capacity of the inclined sections of damaged reinforced concrete beams of rectangular cross-section. *Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers*. Minsk. Institute BelNIIS. Vol. 11. 2019. pp. 147–163. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-10> (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

Железобетон является относительно долговечным материалом, и конструкции, выполненные из этого материала, могут

служить долгое время, что привело к массовому его использованию в строительстве. Но в случае аварий или во время эксплуатации с течением времени по ряду причин происходит физический износ конструкций, и в железобетонных элементах могут возникать различного рода повреждения [1]. Для того чтобы продолжить срок эксплуатации, необходимо принять решение относительно ремонта или усиления данных элементов. К сожалению, эти решения могут быть не вполне экономично выгодными либо недостаточными, в основном это связано с отсутствием в нормативных документах [2] методик расчета остаточной несущей способности поврежденных железобетонных элементов.

Исследованиям поврежденных элементов посвящен ряд работ [3, 4, 5], в которых исследовались прочность поврежденных колонн, прочность нормальных сечений поврежденных изгибаемых элементов, но прочность наклонных сечений в поврежденных в сжатой зоне бетона изгибаемых элементов еще не была изучена и является актуальной проблемой, которой посвящена данная статья.

Особенностью таких конструкций также является то, что за счет изменения геометрических характеристик сечения элемента происходит наклон нейтральной оси относительно силовой плоскости – возникает случай косого изгиба.

Целью исследования является получение экспериментальных данных напряженно-деформированного состояния опытных образцов, несущей способности и разработка методики выполнения проверочных расчетов остаточной несущей способности наклонных сечений в балках прямоугольного профиля, в которых присутствуют повреждения в сжатой зоне бетона.

Задачи исследования включают в себя проведение натурного эксперимента для определения напряженно-деформированного состояния и остаточной несущей способности наклонных сечений, анализ полученных экспериментальных данных, сравнение результатов с теоретическими расчетами по действующим нормативным документам и разработки предложений определения несущей способности для поврежденных балок.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методы исследований представляют собой проведение экспериментальных испытаний поврежденных железобетонных балок прямоугольного профиля под действием сосредоточенной силы при различной величине пролета среза, последующий анализ и статистическая обработка полученных результатов, разработка методики расчета и сопоставление предложенной методики расчета с полученными экспериментальными данными.

МАТЕРИАЛЫ

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 16 образцов (1 образец был тестовым). Материалы для образцов следующие: бетон – класса C25/30, рабочая продольная арматура – класса A500C Ø18 мм, поперечная арматура в виде замкнутых хомутов и конструктивная арматура – класса A240C Ø6 мм. Армирование было запроектировано таким образом, чтобы разрушение произошло по наклонному сечению в пределах рассматриваемого пролета среза. Размер поперечного сечения элементов 100x200 мм, длина 1200 мм, рабочий пролет 1000 мм, опирание свободное. Исследуется влияние трех факторов на несущую способность – пролета среза, глубины повреждения и угла наклона повреждения. Поэтому в образцах были заложены искусственные повреждения сжатой зоны бетона различной глубины (0, 50 и 100 мм) и угла наклона (0°, 30°, 60°), а нагрузка прикладывалась на расстоянии относительного пролета среза $1d$, $2d$, и $3d$. Характеристики балок показаны на рисунке 1. Измерение прогибов выполнялось с помощью индикаторов часового типа ИЧ-10, а измерение деформаций бетона и арматуры выполнялось с помощью тензорезисторов с базой 50 и 10 мм соответственно. Все характеристики материалов были определены по результатам испытаний контрольных образцов в соответствии с требованиями нормативных документов [6, 7].

Испытания балок проводились на специальной силовой установке с использованием гидравлического домкрата, который передавал сосредоточенную силу в заданном месте по длине образца

в соответствии с его шифром. Нагружение образцов выполнялось равномерными ступенями с выдержкой каждой ступени 10 минут. При проведении испытания, как и предполагалось, все образцы были разрушены по наклонному сечению от преобладающего действия поперечной силы. Угол наклона начала и конца опасной трещины составлял до 22° при пролете среза $av = 3d$, до 30° при пролете среза $av = 2d$ и до 60° при пролете среза $a = 1d$. Нормальные трещины появлялись ранее, чем наклонные. Видимые наклонные трещины по грани, противоположной от разрушенной, появлялись на 1–2 ступени раньше и имели большую длину и ширину раскрытия вплоть до предпоследней либо последней ступени нагружения (в образцах Б3, Б4, Б8, Б9, Б13, Б14).

Предельные прогибы f_u образцов-балок балок определялись с помощью индикаторов часового типа. Результаты показали, что с уменьшением пролета среза уменьшаются и предельные прогибы. Наличие повреждений также преимущественно ведет к снижению предельных прогибов. Величины полученных значений предельных прогибов экспериментальных образцов приведены в таблице 1.

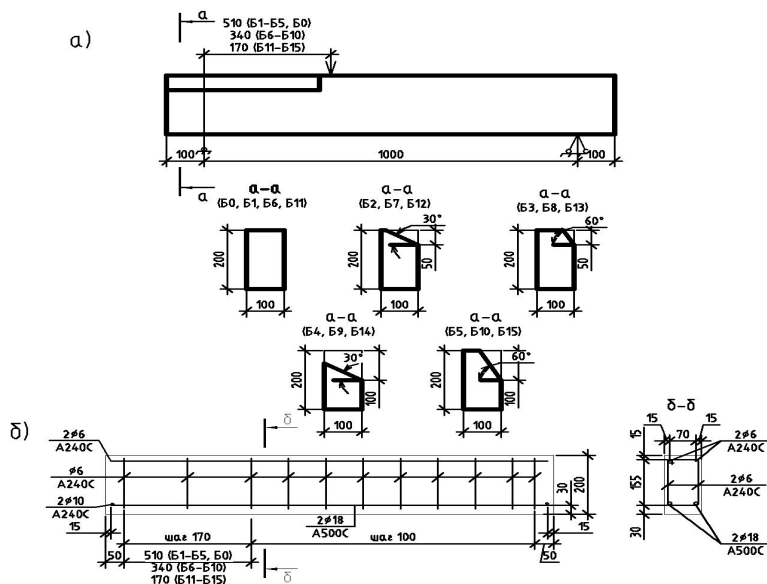


Рисунок 1. Характеристики балок
а – опалубочные размеры; б – армирование

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам испытаний были получены данные несущей способности целых и поврежденных образцов, проанализировав которые, удалось установить влияние повреждений в сжатой зоне бетона на остаточную несущую способность. Из полученных данных можно сказать, что увеличение площади повреждения непосредственно ведет к уменьшению несущей способности. В исследуемых пределах повреждений при одинаковом пролете среза снижение несущей способности достигает 41 %. Наименьшая несущая способность наблюдается у образца с максимальным относительным пролетом среза $a_v/d = 3$ и при максимальной площади повреждения сжатой зоны, наибольшая же у образца с минимальным пролетом среза без повреждений. Полученные результаты предельной поперечной силы несущей способности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения предельных прогибов, предельных деформаций бетона, предельных деформаций поперечных арматурных стержней и разрушающей поперечной силы в экспериментальных образцах

Шифр образца	Величина пролета среза, a_v	Прогиб f_u при $\approx 0,95 F_u$ мм	Предельные деформации бетона $\varepsilon_c^u \cdot 10^{-5}$	Предельные деформации поперечной арматуры $\varepsilon_s^u \cdot 10^{-5}$	Предельная поперечная сила V_u , кН	Остаточная несущая способность, %
Б0 (тестовый образец)	3d	5,14	162	559	59,59	100
Б1		4,94	148	512	59,59	100
Б2		4,03	283	323	57,14	95,94
Б3		4,5	401	402	48,16	80,82
Б4		4,68	377	287	47,35	79,46
Б5		2,37	200	36	24,49	41,0
Б6	2d	3,92	163	712	87,98	100
Б7		2,89	119	302	65,97	74,98
Б8		2,88	177	285	61,58	69,99
Б9		2,4	150	204	48,38	54,99
Б10		2,59	152	24	37,39	42,5
Б11		3,3	41	260	131,36	100
Б12	1d	2,04	49	184	124,45	94,74
Б13		1,95	86	41	116,15	88,42
Б14		2,45	45	64	103,71	78,95
Б15		2,01	69	144	88,5	67,31

Полученные данные предельных деформаций бетона ε_c^u и предельных деформаций поперечной арматуры ε_s^u представлены в таблице 1. Характер развития предельных деформаций бетона показан на рисунках 2–4.

Данные позволяют проследить характер напряженно-деформированного состояния в опытных образцах. Предельные деформации бетона с уменьшением пролета среза уменьшаются. Увеличение угла повреждения же ведет к увеличению предельных деформаций. При обрыве линии на графике либо тензорезистор выходил из строя, либо деформации достигали значительных величин, и измерительный прибор не был способен их зафиксировать. По характеру развития деформаций можно установить, что нейтральная ось в поврежденных элементах действительно наклоняется относительно действия силовой плоскости – у неповрежденной грани она располагается выше, чем у поврежденной.

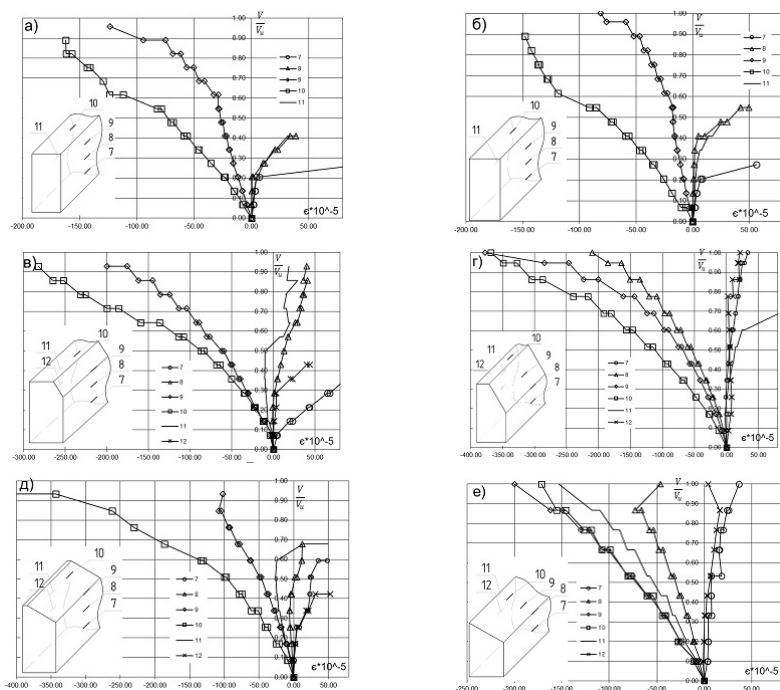


Рисунок 2. Характер развития деформаций бетона в образцах Б0, Б1–Б5
а – образец Б0; б – образец Б1; в – образец Б2; г – образец Б3; д – образец Б4;
е – образец Б5; 7...12 – номера тензорезисторов

Деформации поперечной арматуры с уменьшением пролета среза, а также с увеличением площади повреждения бетона уменьшались. По величине предельных деформаций можно сказать, что на начальных этапах нагружения стержни поперечной арматуры незначительно сжимаются, а позже начинают испытывать растяжение. Также можно заметить, что стержни у граней, противоположных от повреждений, имеют большие деформации, нежели у поврежденных граней. Напряжения σ_y не достигали предела текучести в образцах с наибольшим повреждением в проделах пролета среза $1d$ и $2d$ (образцы Б5, Б10) и во всех поврежденных образцах с пролетом среза 3 (образцы Б12-Б15), во всех же остальных образцах предел текучести поперечных арматурных стержней был достигнут при уровне $0,85...0,95 V_u$.

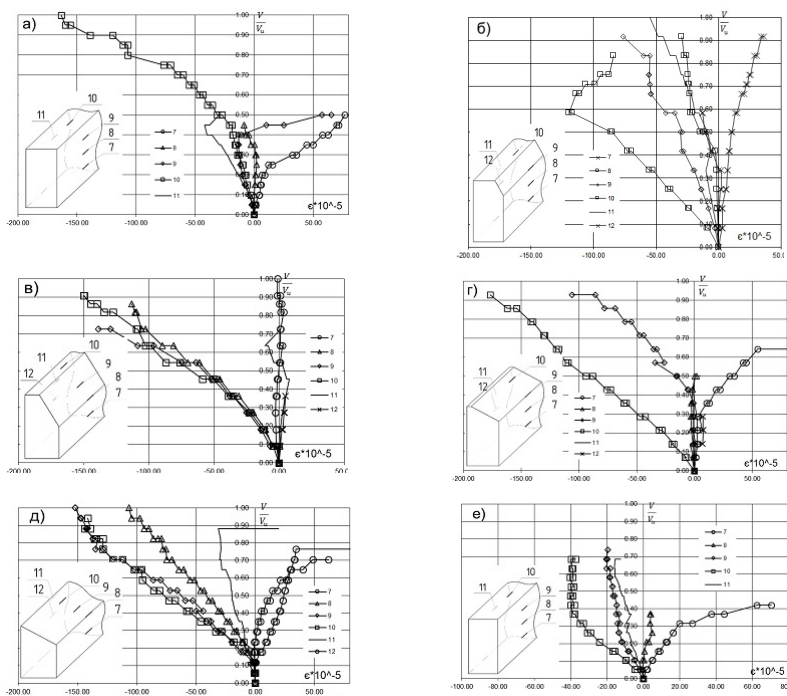


Рисунок 3. Характер развития деформаций бетона в образцах Б6–Б11

а – образец Б6; б – образец Б7; в – образец Б8; г – образец Б9; д – образец Б10;
 е – образец Б11; 7...12 – номера тензорезисторов

Проанализировав вышеизложенное, можно отметить, что среди исследуемых факторов на прочностные и деформационные характеристики исследуемых образцов наибольшее влияние имеет пролет среза, глубина повреждения в меньшей степени, а угол наклона влияет наименьшим образом.

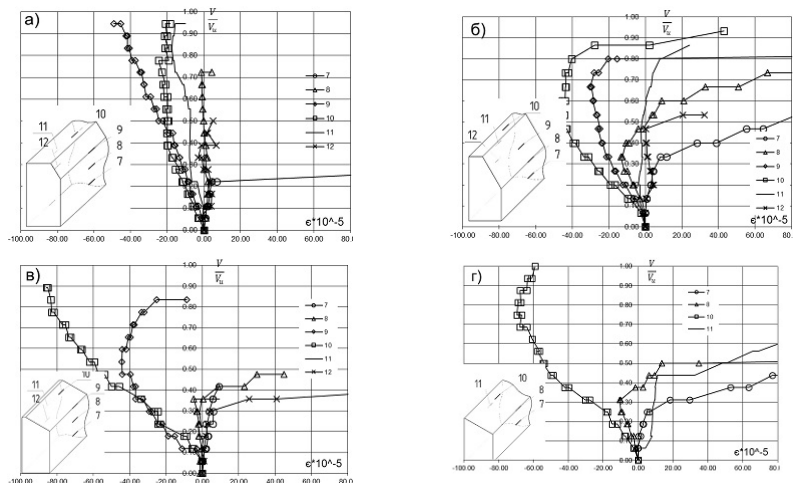


Рисунок 4. Характер развития деформаций бетона в образцах Б12–Б14
а – образец Б12; б – образец Б13; в – образец Б14; г – образец Б15; 7...12 – номера тензорезисторов

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО РАСЧЕТУ ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ

Представленная ниже методика расчета актуальна только для элементов прямоугольного поперечного сечения без предварительного напряжения при действии сосредоточенной силы в пределах пролета среза от $1d$ до $3d$. Из анализа экспериментальных данных определено, что пролет среза a_v имеет большое влияние на несущую способность наклонного сечения. В нормах это влияние частично учтено путем занижения возникающей в элементе поперечной силы V_{Ed} при умножении на коэффициент β , который равен отношению $a_v/2d$ (но пролет среза a_v ограничен пределом $0,5d \leq a_v \leq 2d$), однако исследования показали, что это влияние

при $a_v = 2$ в нормах занижено, и изменение до значения $a_v = 3d$ имеет значение. Поэтому вносится предложение определять величину $m = 1/\beta$ по рисунку 5, тогда несущая способность будет обеспечена при следующем условии:

$$V_{\Pi} \leq (V_{Rd,c} + V_{Rd,s}) \cdot m \quad (1)$$

где $V_{rd,c}$ – расчетная величина несущей способности сдвига для бетона;

$V_{rd,s}$ – расчетная величина несущей способности сдвига для поперечного армирования.

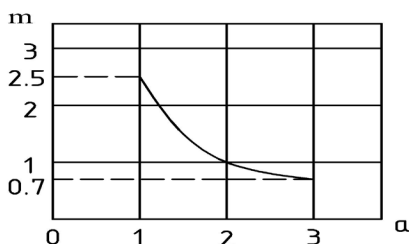


Рисунок 5. Зависимость коэффициента m от величины пролета среза a_v

Кроме того, экспериментальные данные показали, что повреждения влияют на снижение несущей способности элемента. Угол наклона существенно не влияет на изменение несущей способности, поэтому принято решение уменьшать сечение равномерно по высоте площадью, эквивалентно равной площади повреждения A_{damage} . Высота эквивалентного повреждения $h_{damage,eqv}$ тогда определяется по выражению:

$$h_{damage,eqv} = \frac{A_{damage}}{b_w} \quad (2)$$

где b_w – ширина поперечного сечения элемента;

Поэтому в дальнейший расчет, кроме рабочей высоты сечения d , введем в эквивалентную рабочую высоту $d_{damage,eqv}$ с учетом повреждения:

$$d_{damage,eqv} = d - h_{damage,eqv} \quad (3)$$

где h – высота поперечного сечения элемента;

a – величина защитного слоя бетона;

Величина $V_{rd,c}$ выбирается как максимальная из выражений (4) и (5):

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_k)^{1/3} (b_w d - A_{damage}) \quad (4)$$

где $C_{Rd,c}$ – прочность бетона на срез в МПа, которая в нормах определяется упрощенно, однако в литературных источниках [8] дается более точное значение в зависимости от класса бетона (таблица 2), которую рекомендуется и использовать в расчете;

k – коэффициент, определяется как $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{damage,eqv}}}$, но не более 2 (величина d в мм);

ρ_l – коэффициент продольного армирования, определяется как

$$\rho_l = \frac{A_s}{b_w d}, \text{ но не более } 0,02;$$

f_{ck} – характеристическая призмная прочность бетона в МПа.

Таблица 2

Значение прочности бетона на срез $C_{Rd,c}$

Класс бетона	C12/15	C15/20	C20/25	C25/30	C30/35	C32/40	C40/15	C45/55	C50/60
$C_{rd,c}$, МПа	0,18	0,22	0,26	0,3	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48

$$V_{rd,s} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}} (b_w d - A_{damage}) \quad (5)$$

Величина $V_{rd,s}$ выбирается как минимальная из выражений (6) и (7):

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} \cot \theta \quad (6)$$

где A_{sw} – площадь поперечного армирования;

s – шаг поперечных стержней;

z – плечо внутренней пары сил, принимать $z = 0,9 \cdot d_{damage,eqv}$;

f_{ywd} – расчетное сопротивление текучести поперечной арматуры;

θ – угол наклона наклонной трещины относительно оси балки, вносится предположение принимать $\cot \theta$ в зависимости от пролета

среза $\cot \theta = \frac{a_v}{d}$ в пределах $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$;

$$V_{Rd,s} = \frac{\alpha_{av} b_w z v_l f_d}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (7)$$

где α_{av} – коэффициент, который учитывает уровень напряжений в сжатой зоне, для данного случая принимается равным 1;

v – коэффициент занижения прочности бетона с трещинами

при сдвиге, принимаемый $v = 0,6 \left[1 - \frac{f_k}{250} \right]$ (f_k в МПа);

f_{cd} – расчетная призмная прочность на сжатие;

Выполнены расчет опытных образцов по предложенной методике, а также сравнение с экспериментальными данными, коэффициент вариации v составил 10,3 %. Результаты сравнения представлены в таблице 3. Блок-схема предложенной методики приведена на рисунке 6.

Следует отметить, что предложенная методика в 53,3 % испытанных образцов переоценивает несущую способность, это связано с тем, что для проведения вычислений использованы фактические средние значения характеристики бетона и арматуры, если же выполнять расчеты по нормативным характеристикам в соответствии с классами материалов, то такая переоценка значительно снижается.

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными

Шифр образца	Несущая способность V_{ed} по предложенной методике, кН	Несущая способность V_{ed} фактическая, кН	Разница %
Б1	54,16	59,54	-9,03
Б2	51,85	57,14	-9,26
Б3	47,23	48,16	-1,94
Б4	44,92	47,35	-5,12
Б5	31,38	24,49	28,13
Б6	69,36	87,98	-21,16
Б7	66,4	65,97	0,66
Б8	60,49	61,58	-1,76
Б9	57,53	48,38	18,91
Б10	44,83	37,39	19,91
Б11	133,4	131,36	1,55
Б12	127,7	124,45	2,61
Б13	116,3	116,15	0,13
Б14	110,6	103,7	6,65
Б15	77,29	88,5	-12,66
Коэффициент вариации v	0,103		

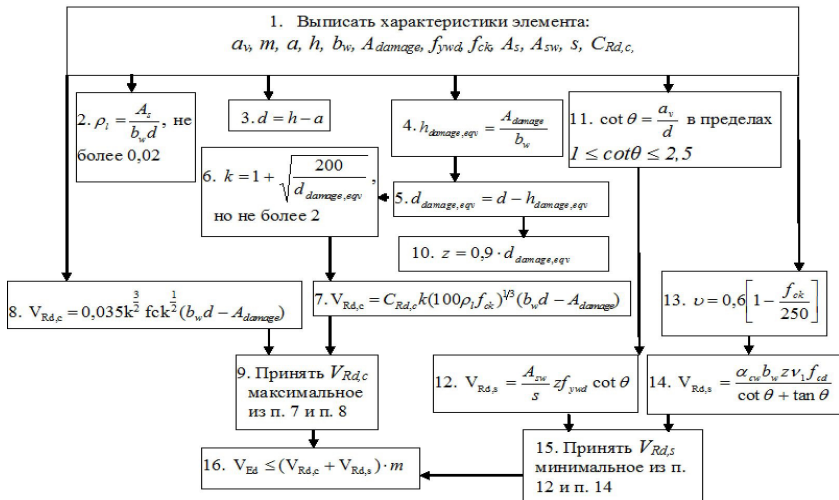


Рисунок 6. Блок-схема расчета несущей способности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментальных исследований была определена остаточная несущая способность наклонных сечений поврежденных железобетонных балок, а также напряженно-деформированное состояние.

Уменьшение пролета среза приводит к увеличению несущей способности, уменьшению предельных прогибов и деформаций бетона.

Возникновение повреждений приводит к снижению несущей способности, к уменьшению предельных прогибов и деформаций бетона. Также это приводит к наклону нейтральной оси в элементе относительно действия силовой линии.

Анализ факторов показал, что наибольшее влияние на несущую способность оказывает изменение пролета среза, исследуемая высота повреждения вторая по значимости, а угол повреждения имеет меньшее влияние.

Анализ полученных данных позволил разработать предложения расчета исследованных элементов. Расчетная несущая способность показала близкие значения по сравнению с экспериментальными данными, о чем свидетельствует коэффициент вариации v , который составил 10,3 %.

Разработанная методика имеет значительное практическое значение, так как ее применение позволит выбирать наиболее экономически выгодный и обоснованный метод ремонта/усиления поврежденных в процессе эксплуатации железобетонных балок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Клименко, Є. В. Технічний стан будівель та споруд / Є. В. Клименко. – Одеса : ОДАБА, 2010. – 284 с.
2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6.156:2010 (Национальный стандарт Украины). Чинний від 01.06.2011. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с.

3. Klymenko, I. Capacity of damaged reinforced concrete beams : Monograph / Klymenko Ievgenii, Arez Mohammed Ismael – Odessa, OSACEA, 2017. – 162 p.
4. Клименко, Е. В. Работа поврежденных железобетонных колонн / Е. В. Клименко, Т. А. Крутько. – Одесса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – 137 с.
5. Воскобійник, О. П. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають косий згин / О. П. Воскобійник [та ін.] // 36. наук праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 1(29). – С. 87–92.
6. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение : ГОСТ 12004-81. – Введ. 01.07.1983. – М.: НИИЖБ, 1981. – 11 с.
7. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками : ДСТУ Б.В.2.7-214: 2009 (Национальный стандарт Украины). Чинний від 22.12.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с.
8. Мурашко, Л. А. Розрахунок за міцністю перерізів нормальних та похилих до повздовжньої осі згинальних залізобетонних елементів за ДБН. В.2.6-98:2009: навчальний посібник / Л. А. Мурашко, В. М. Колякова, Д. В. Сморгалов - К: Видавництво КНУБА, 2012. - 62 с.

Стаття поступила: 26.11.2019

REFERENCES

1. Klymenko Ye. V. *Tekhnichniy stan budivel ta sporud* [Technical condition of buildings and structures]. Odesa : ODABA, 2010. 284 p. (ukr)
2. *Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia* [Concrete and reinforced concrete structures with heavy weight structural concrete. Design rules] : DSTU B.V.2.6.156:2010. Introduced: 01.06.2011. – Kyiv : Minrihionbud Ukrainy, 2010. 166 p. (ukr)

3. Klymenko I., Arez Mohammed Ismael *Capacity of damaged reinforced concrete beams* : Monograph. Odessa, OSACEA. 2017. 162 p.
4. Klimenko E. V., Krutko T.A. *Rabota povrezhdennykh zhelezobetonnykh kolonn* [The work of damaged reinforced concrete columns]. Odesa: Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury, 2014. 137 p. (rus)
5. Voskobiinyk O. P. [ta in.] *Eksperymentalni doslidzhennia zalizobetonnykh balok z defektamy ta poshkodzhenniamy, yaki vyklykaiut kosyi zghyn* [Experimental investigation of reinforced concrete beams with defects and damages that cause the skew bending]. Poltava: *PoltNTU*, 2011. No. 1(29). pp. 87–92. (ukr)
6. *Stal armaturnaya. Metody ispytaniya na rastyazheniye* [Reinforcement steel. Extension test methods] : GOST 12004-81. Introduced: 01.07.1983. – M.: NIIZhB. 1981. 11 p. (rus)
7. *Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkami* : DSTU B.V.2.7-214: 2009. Introduced: 22.12.2009. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. 43 p. (ukr)
8. Murashko L. A., Koliakova V. M., Smorkalov D. V. *Rozrakhunok za mitsnistiu pereriziv normalnykh ta pokhylykh do povzdovzhnoi osi zghynalnykh zalizobetonnykh elementiv za DBN. V.2.6-98:2009* [Calculation of the strength of the cross sections of the normal and inclined to the longitudinal axis of the bending reinforced concrete elements for the DBN. B.2.6-98: 2009]: navchalnyi posibnyk. K: Vydavnytstvo KNUBA, 2012. 62 p. (ukr)

Received: 26.11.2019