

силы, приложенной на консоли или посередине пролета двухопорной шарнирноопертой балки. В таблице приведены прогибы балки в месте приложения силы: 1) прогибы, полученные в геометрически линейной постановке задачи от нормированной силы  $F^*$  – силы, которая вызывает прогиб, равный высоте сечения; прогибы в геометрически нелинейной постановке для 2) консольной и 3) двухопорной балки соответственно. В таблице показаны усредненные значения для различной высоты и ширины сечения, которые варьировались в пределах 10-20 см.

Нормированная сила $F^*$	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16
Линейная постановка	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16
Консольная балка	0	0,02	0,04	0,059	0,078	0,975	0,113	0,130	0,144
Двухопорная балка	0	0,02	0,04	0,058	0,076	0,943	0,111	0,123	0,136

Анализируя приведенные результаты расчетов, можно сделать вывод, что в балке, прогибы которой не превышают 0,1-0,12 высоты сечения, решения в геометрически линейной и нелинейной постановке отличаются несущественно (разница меньше 5%), при увеличении прогибов (выделенная зона) расхождение растет.

1.Чупрынин А.А., Аббаси Р. Численная реализация метода конечных элементов в задачах статики и динамики стержневых конструкций // Тезисы докл. XXXIII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. Ч.2. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – С.138.

2.Усюкин В.И. Строительная механика конструкций космической техники. – М.: Машиностроение, 1988. – 292 с.

3.Бреславский В.Е., Чупрынин А.А. Численная реализация МКЭ в задачах статики и динамики неоднородных тонких оболочек // Динамика и прочность машин. Вып.55. – Харьков: ХГПУ, 1997. – С.102-108.

*Получено 12.02.2008*

УДК 691.58 : 668.3

Л.Н.ШУТЕНКО, д-р техн. наук, М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук,  
Р.Б.ТКАЧЕНКО

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **ДЕФОРМАТИВНОСТЬ АНКЕРОВКИ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ КЛАССА А500С АКРИЛОВЫМИ КЛЕЯМИ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ**

Приводятся результаты экспериментов по определению деформативности анкеровки арматурных стержней класса А500С в бетон акриловыми клеями. Рассматривается

зависимость анкерного соединения от глубины заделки, толщины клеевого слоя и глубины заделки анкера, выполненного из арматурного стержня класса А500С.

Современное строительное производство нуждается в новых эффективных материалах, обеспечивающих надежность соединений конструкций, сокращение сроков производства работ и материальных затрат. В Харьковской национальной академии городского хозяйства в качестве такого материала предлагается акриловый клей, обладающий всеми необходимыми свойствами.

Исследованиям прочности анкерного соединения на акриловых клеях в случае воздействия на арматурный стержень кратковременного выдергивающего усилия посвящены работы Л.Н.Шутенко, М.С.Золотова, А.О.Гарбуз, Фам Минь Ха [1-4]. Однако в представленных ранее работах использовалась арматура класса АIII, геометрия которой в значительной мере отлична от арматурного проката класса А500С [5]. Как показали экспериментальные и теоретические исследования, прочность заделки арматурных стержней класса А500С в бетон акриловыми клеями обычных составов обеспечивается при  $l_{анк} = 22,5d_s$ . Использование модификаторов позволило увеличить прочностные характеристики акрилового клея и его теплостойкость.

В настоящей работе решается задача по определению деформативности клеевой анкеровки в зависимости от толщины клеевого слоя и глубины заделки арматурных стержней класса А500С в железобетонные образцы. В качестве образцов-анкеров брали арматурные стержни периодического профиля класса А500С со следующими техническими характеристиками: предел текучести – 500 МПа; предел прочности – 600 МПа.

Продольное армирование железобетонных образцов осуществлялось, исходя из предполагаемых величин разрушающих усилий анкерного соединения стальными стержнями  $\varnothing 20A240$  при глубине заделки анкера  $10d_s$  и  $\varnothing 25A240$  свыше  $10d_s$ . Поперечное армирование осуществлялось стержнями  $\varnothing 3A240$  и  $\varnothing 10A240$ . Арматура  $\varnothing 10A240$  для поперечного армирования была принята с учетом возникающих радиальных напряжений в бетоне.

Для каждого случая поперечного армирования изготавливалось по шесть серий образцов анкерных соединений с заделкой арматурных стержней акриловым составом на глубину  $l_{анк} = 10d_s, 12,5d_s, 15d_s, 17,5d_s, 20d_s, 22,5d_s$  каждой серии по три образца. Всего было изготовлено 36 образцов. Схема испытания клеевых соединений по определению смещений незагруженного и загруженного концов анкера при воздействии кратковременного выдергивающего усилия представлена

на рис.1.

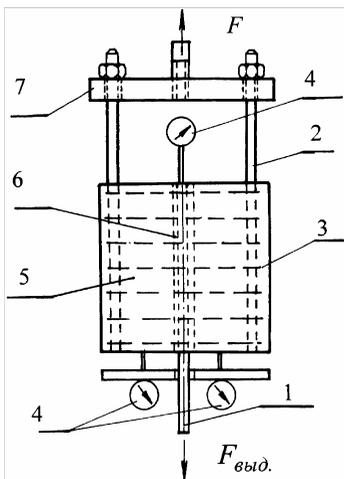


Рис.1 – Схема испытания клеевых соединений по определению смещений незагруженного и нагруженного концов анкера при воздействии кратковременного выдергивающего усилия для анкеров  $d_s = 20$  и  $25$  мм:

1 – анкер; 2 – продольная арматура; 3 – поперечная арматура; 4 – часовой индикатор; 5 – железобетонная призма; 6 – клеевой слой; 7 – стальная плита.

ния  $\Delta_{(l)}$  нагруженного конца анкера для первой серии имели большие значения, чем для седьмой при одинаковых значениях  $\delta_s$ . Причем, при данной  $l_{анк}$  наблюдалась некоторая линейность смещений: для первой серии до значения  $\sigma_s \geq 160$  МПа, для седьмой  $\sigma_s \geq 210$  МПа.

Разрушение анкерных соединений при  $l_{анк} = 10d_s$  происходило в результате разрушения по контакту клей-бетон с образованием небольшого конуса выкола бетона вокруг клеевой обоймы (возле нагруженного конца анкера) и образования трещин в бетоне. В момент разрушения анкерных соединений средние значения нормальных осевых растягивающих напряжений на нагруженном конце анкера были равны соответственно 463 МПа для первой и 504 МПа для второй серии образцов. Смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженного конца анкера наблюдались при  $\sigma_s = 120$  МПа для первой и  $\sigma_s = 160$  МПа для второй серии образцов. Смещения  $\Delta_{(l)}$  нагруженного конца анкера имели большие значения для первого случая, чем для второго при одинаковых значениях  $\sigma_s$ .

Результаты испытаний по определению зависимости анкерного соединения от глубины заделки, толщины клеевого слоя и глубины заделки анкера, выполненного из арматурного стержня класса А500С представлены в виде графиков (рис.2-6).

При увеличении глубины заделки до 12,5 диаметров анкера значение несущей способности составило при поперечном армировании железобетонного образца арматурой  $\varnothing 3$   $\sigma_s = 533$  МПа, а при поперечной арматуре  $\varnothing 10A240$   $\sigma_s = 592$  МПа. Смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженного конца анкера наблюдались при  $\sigma_s \geq 160$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 3$ ) и  $\sigma_s \geq 210$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 10$ ). Смещения

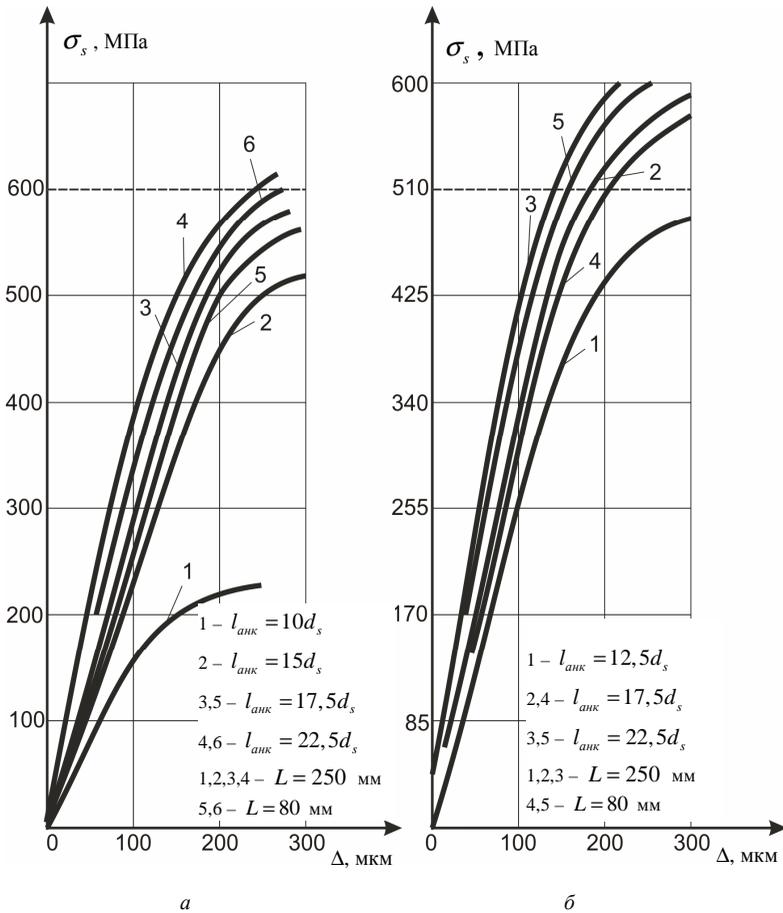


Рис. 2 – Графики смещений загруженного конца  $\Delta_l$  концевго анкера  $d_s = 20A500C$  в зависимости от глубины заделки и удаления от грани бетонного массива класса В15 (а) и В20 (б)

Разрушение анкерных соединений при  $l_{анк} = 15d_s$  происходило при анкеровке стержня в железобетонный образец с поперечным армированием  $\varnothing 3$  мм  $\sigma_s = 562$  МПа, а при поперечной арматуре  $\varnothing 10A240$   $\sigma_s = 612$  МПа. Смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженного конца анкера наблюдались при  $\sigma_s \geq 212$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 3$ ) и  $\sigma_s \geq 237$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 10$ ). Смещения  $\Delta_{(l)}$  загруженного конца

анкера для первой серии имели большие значения, чем для седьмой при одинаковых значениях  $\sigma_s$ .

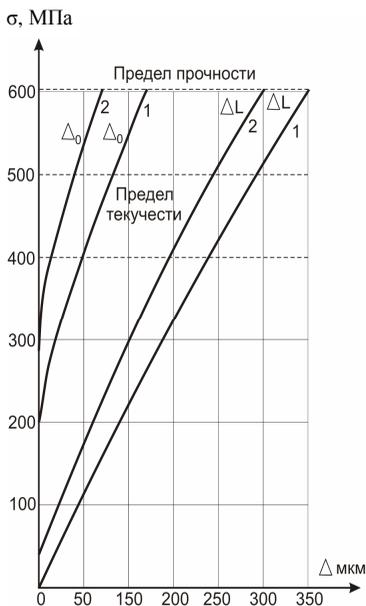


Рис.3 – Смещения незагруженного  $\Delta_{(0)}$  и загруженного  $\Delta_{(l)}$  концов арматурных стержней, заделанных в бетон на глубину  $l_{анк} = 17,5d_s$  (1 –  $d_s$  20A500C; 2 –  $d_s = 25A500C$ )

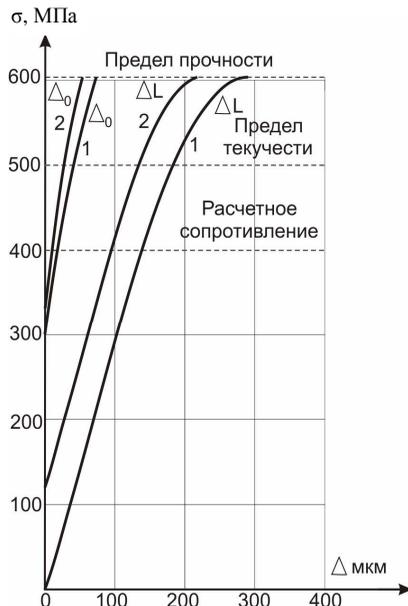


Рис.4 – Смещения незагруженного  $\Delta_{(0)}$  и загруженного  $\Delta_{(l)}$  концов арматурных стержней, заделанных в бетон на глубину  $l_{анк} = 22,5d_s$  (1 –  $d_s$  20A500C; 2 –  $d_s = 25A500C$ )

При глубине заделки 17,5 диаметров анкера разрушение анкерных соединений с поперечным армированием  $\varnothing 3$  мм  $\sigma_s = 578$  МПа, а при поперечной арматуре  $\varnothing 10A1$   $\sigma_s = 632$  МПа. Смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженного конца анкера наблюдались при  $\sigma_s \geq 234$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 3$ ) и  $\sigma_s \geq 261$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 10$ ). Смещения  $\Delta_{(l)}$  загруженного конца анкера имели значения подобные анкерному соединению при  $l_{анк} = 15d_s$ .

Разрушение анкерных соединений при  $l_{анк} = 20d_s$  (рис.3) происходило при анкеровке стержня в железобетонный образец с поперечным армированием  $\varnothing 3$  мм в результате разрушения бетона по контакту клей-бетон с образованием конуса вырыва вокруг клеевой обоймы; при анкеровке стержня в железобетонный образец с поперечным ар-

мированием  $\text{Ø}10\text{A}240$  образцы анкерного соединения разрушались в результате разрыва анкера с образованием конуса вырыва вокруг клеевой обоймы.

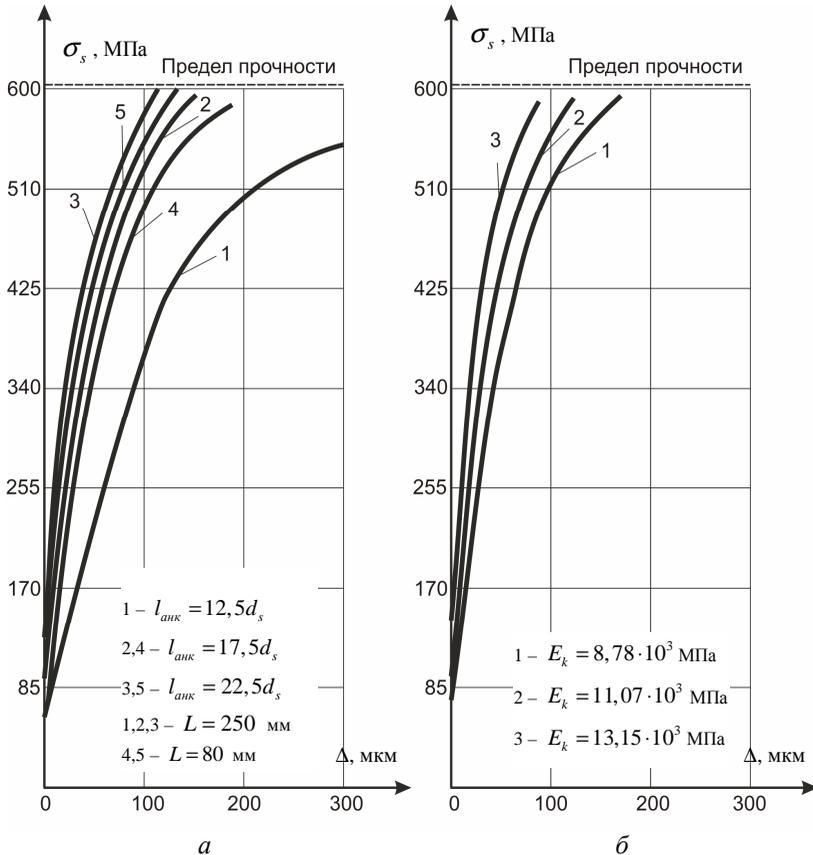


Рис.5 – Графики смещений загруженного конца  $\Delta_l$  концевго анкера  $d_s = 20\text{A}500\text{C}$  в бетоне класса В30 в зависимости от глубины заделки и удаления от грани бетонного массива (а), а также модуля упругости клея (б)

При разрушении анкерных соединений средние значения нормальных осевых растягивающих напряжений на загруженном конце арматурного стержня были равны: при анкеровке с поперечным армированием железобетонного образца арматурой  $\text{Ø}3$  мм, а при поперечной арматуре  $\text{Ø}10\text{A}240$   $\sigma_s = 692$  МПа. Смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженного

конца анкера наблюдались при  $\sigma_s \geq 251$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 3$  А240) и  $\sigma_s \geq 284$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 10$  А240).

Смещения  $\Delta_{(l)}$  загруженного конца анкера для первой и седьмой серий имели почти одинаковые значения до величины нормальных осевых напряжений, равных расчетному сопротивлению арматуры класса А500С. Причем наблюдался линейный характер смещений  $\Delta_{(0)}$   $\Delta_{(l)}$  для первой серии  $\sigma_s = 385$  МПа (т.е. выше значения расчетного сопротивления арматуры класса А500С по ДСТУ 3760-98), для седьмой серии – до  $\sigma_s = 427$  МПа, т.е. до наступления текучести в анкере.

После достижения  $\sigma_s$  значений предела текучести наблюдались значительные смещения  $\Delta_{(l)}$  загруженного конца анкера.

Разрушение анкерных соединений при  $l_{анк} = 22,5d_s$  происходило в результате разрыва арматурного стержня с образованием конуса выкола бетона вокруг клеевой обоймы и трещин в бетоне возле загруженного конца анкера. В момент разрушения анкерных соединений средние значения нормальных осевых растягивающих напряжений на загруженном конце анкера были равны  $\sigma_s \approx 695$  МПа, т.е. равны пределу прочности арматурного стержня при растяжении.

Смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженного конца анкера наблюдались при  $\sigma_s \geq 370$  МПа (т.е. при расчетном сопротивлении арматуры класса А500). Смещения  $\Delta_{(l)}$  загруженного конца анкера имели большие значения для первого случая, чем для второго при одинаковых значениях  $\sigma_s$ . Смещения  $\Delta_{(0)}$  и  $\Delta_{(l)}$  в случае заделки в железобетонный образец с поперечным армированием  $\varnothing 3$  мм и 10А240 почти одинаковые и носят линейный характер:  $\Delta_{(0)}$  – до  $\sigma_s = 510$  МПа;  $\Delta_{(l)}$  – до  $\sigma_s = 610$  МПа.

Графики смещения  $\Delta_{(0)}$  незагруженных концов анкеров (рис.6), заделанных на различную глубину с помощью акрилового клея показывают, что при  $l_{анк} = 15d_s$  и более независимо от характера армирования железобетонного образца почти одинаковы. Величина смещения  $\Delta_{(0)}$  составляет 13-16 мкм при  $\sigma_s \approx 450$  МПа, т.е. при пределе текучести арматуры. А при  $\sigma_s = R_s = 365$  МПа,  $\Delta_{(l)}$  не превышает 8-10 мкм. Следовательно, характер смещений также подтверждает необходимость максимальной глубины заделки принимать равной  $15d_s$  при использовании модифицированного акрилового клея.

Анализ результатов испытаний деформативности анкерных соединений показал следующее. Уже при заделке арматуры периодического профиля класса А500С в бетон класса В20 на глубину  $l_{анк} = 20d_s$  разрушение анкерного соединения происходит при  $\sigma_s = 592$  МПа (при поперечной арматуре  $\varnothing 3$ ), что является удовлетворительным, так как нижнее значение предела прочности арматуры класса А500С

$\sigma_s = 600$  МПа. При этом образцы анкерных соединений разрушались в результате разрыва арматурных стержней. При  $l_{анк} = 22,5d_s$  разрушение всех образцов анкерного соединения на акриловом клее для обоих случаев армирования происходило в результате разрыва арматурных стержней.

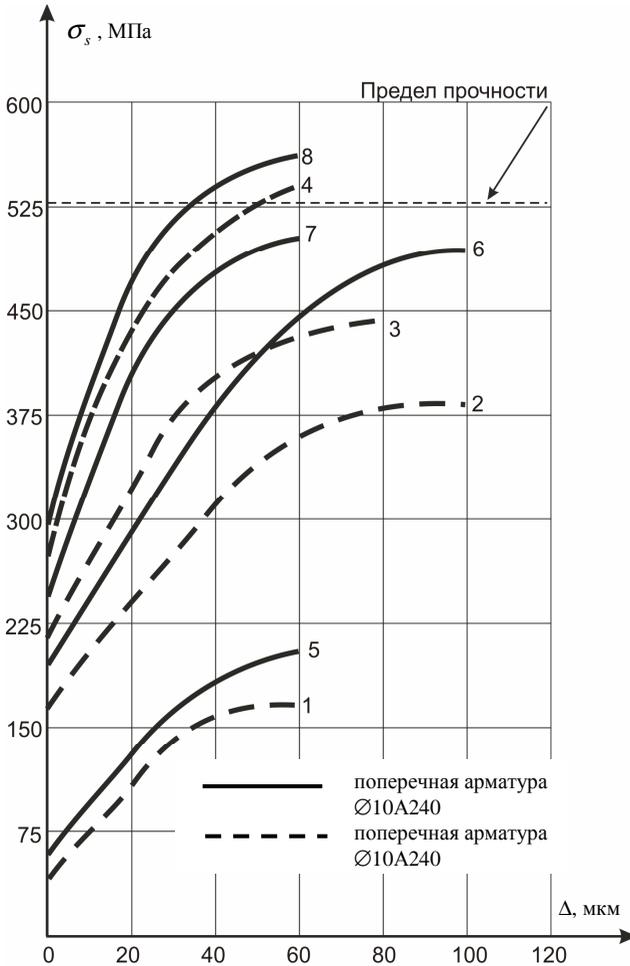


Рис.6 – Графики смещений незагруженного конца клевого анкера  $d_s = 20A500C$  в зависимости от глубины заделки в железобетонную призму:  
 1, 5 –  $l_{анк} = 10d_s$ ; 2, 6 –  $l_{анк} = 15d_s$ ; 3, 7 –  $l_{анк} = 17,5d_s$ ; 4, 8 –  $l_{анк} = 22,5d_s$ .

1.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О., Ткаченко Р.Б. Усиление сцепления арматуры с бетоном // Материалы II междунар. науч.-техн. интернет-конференции «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства». – Харьков: ХНАГХ, 2007. – С.127-130.

2.Шутенко Л.Н., Макогон Д.А., Ткаченко Р.Б. Влияние некоторых технологических факторов на прочность и деформативность клеевой анкеровки арматурных стержней // Материалы к 46-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'46. – Одесса: ОГАСА, 2007. – С.209-210.

3.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Ткаченко Р.Б. Зависимость глубины заделки арматурных стержней класса А500С от прочности акрилового клея // Коммунальное хозяйство городов.: Науч.-техн. сб. Вып.79. – К.: Техніка, 2007. – С.36-45.

4.Фам Минь Ха. Длительная прочность и напряженно-деформированное состояние анкеровки арматурных стержней периодического профиля акриловыми клеями: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Харьков, 2000. – 162 с.

5.Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – К.: Госстрой Украины, 2002. – 40 с.

*Получено 11.04.2008*

УДК 624.072.2.012.45.042.5

В.И.КОРСУН, д-р техн. наук, Е.А.ДМИТРЕНКО

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка*

### **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния скорости нагружения на прочность и деформации тяжелого бетона в условиях воздействия повышенных до +200°C температур. Предложено модифицированное выражение для функции учета режима нагружения в методике диаграмм-изохрон.

Конструкции большинства зданий и инженерных сооружений подвержены сложным режимам силовых и температурно-влажностных воздействий. Точность оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) таких конструкций в определяющей степени зависит от достоверности используемых физических соотношений и полноты учета в них основных значимых факторов.

Известные методики расчета таких конструкций [6, 7] построены на основе раздельного учета физической нелинейности и неравновесности деформирования бетона и обладают определенной условностью, так как предполагают последовательное решение задач двух типов: реологической задачи по определению НДС конструкций при длительном действии температуры и нагрузок эксплуатационного уровня и задачи определения НДС на последующее кратковременное догру-