



РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ ГНУЧКИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІЙОК ДЕФОРМАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

В. В. Гічко

Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,

5/2, вул. Івана Клименка, м. Київ, Україна, 03037.

E-mail: wit.82@ukr.net

Отримана 19 березня 2014; прийнята 25 квітня 2014.

Анотація. Наведені цілі, задачі експериментально-теоретичних досліджень та шляхи їх вирішення із розрахунку стійкості гнучких залізобетонних позакентровано стиснутих елементів деформаційним методом. Викладені основні положення розроблених методик розрахунку, які базуються на використанні реальних діаграм деформування бетону та арматури: методик, які враховують особливості роботи таких елементів, які можна застосовувати до залізобетонних елементів будь-якої гнучкості та використовуваних матеріалів, у тому числі виготовлених із застосуванням високоміцних бетонів. Описана розроблена так звана «точна» методика, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан нормальних перерізів стрижня деформаційним методом із наступним визначенням стану елемента в цілому. При цьому в розрахунку враховується фактичний прогин, який виникає в процесі навантаження. Також в статті висвітлений розроблений спрощений метод розрахунку гнучких позакентровано стиснутих залізобетонних елементів. Даний метод розрахунку оснований на оцінці міцності найбільш напруженого перерізу і базується на використанні реальних жорсткостей перерізів ($B = M / \delta$), які знаходяться в результаті визначення їх напружено-деформованого стану деформаційним методом. Таким чином досягається більша точність отримуваних результатів. Наведені кількісна та якісна оцінки на основі співставлення даних експериментальних досліджень гнучких позакентровано стиснутих залізобетонних стійок при короткочасній дії навантаження, виконаних автором статті, а також раніше іншими дослідниками (А. М. Бамбурою та Р. Х. Каюмовим) з результатами їх розрахунку згідно з розробленими методиками. Аналіз отриманих статистичних параметрів розподілу показав, запропоновані нами методики розрахунку дають стабільні результати в оцінці критичного навантаження. Так, при розрахунку за «точною» методикою коефіцієнт варіації склав $V_c = 8,5 \%$, а за спрощеною методикою $V_c = 15,5 \%$. На основі результатів виконаних досліджень викладені основні висновки, які включають можливість в перспективі впровадження даних методик в практику проектування залізобетонних конструкцій.

Ключові слова: стійкість, несуча здатність, деформаційний метод, «точна методика», спрощений метод розрахунку, оцінка точності.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ГИБКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТОЕК ДЕФОРМАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В. В. Гічко

Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт строительных конструкций»,

5/2, ул. Ивана Клименко, г. Киев, Украина, 03037.

E-mail: wit.82@ukr.net

Получена 19 марта 2014; принята 25 апреля 2014.

Аннотация. Приведены цели, задачи экспериментально-теоретических исследований и пути их решения по расчету устойчивости гибких железобетонных внецентренно сжатых элементов деформационным методом. Изложены основные положения разработанных методик расчета, которые базируются на использовании реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры: методик, учитывающих

особенности работы таких элементов, применимых к железобетонным элементам любой гибкости и используемым материалам, в том числе изготовленным с применением высокопрочных бетонов. Описана разработанная так называемая «точная» методика, которая позволяет определять напряженно-деформированное состояние нормальных сечений стержня деформационным методом с последующим определением состояния элемента в целом. При этом в расчете учитывается фактический прогиб, возникающий в процессе нагружения. Также в статье освещен разработанный упрощенный метод расчета гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов. Данный метод расчета основан на оценке прочности наиболее напряженного сечения и базируется на использовании реальных жесткостей сечений ($B = M / \delta$), вычисляемых в результате определения их напряженно-деформированного состояния деформационным методом. Таким образом достигается большая точность получаемых результатов. Приведены количественная и качественная оценки на основе сопоставления данных экспериментальных исследований гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек при кратковременном действии нагрузки, выполненных автором статьи, а также ранее другими исследователями (А. Н. Бамбурой и Р. Х. Каюмовым) с результатами их расчета согласно разработанным методикам. Анализ полученных статистических параметров распределения показал, что предлагаемые нами методики расчета дают стабильные результаты в оценке критической нагрузки. Так, при расчете по «точной» методике коэффициент вариации составил $V_c = 8,5 \%$, а по упрощенной методике $V_c = 15,5 \%$. На основании результатов выполненных исследований изложены основные выводы, включающие возможность в перспективе внедрения данных методик в практику проектирования железобетонных конструкций.

Ключевые слова: устойчивость, несущая способность деформационный метод, «точная методика», упрощенный расчет, оценка точности.

STABILITY DESIGN OF ELASTIC REINFORCED-CONCRETE POLES BY BENDING METHOD

Vitaliy Gichko

State enterprise «The state research institute of building constructions»,

5/2, Ivan Klimenko Str., Kyiv, Ukraine, 03037.

E-mail: wit.82@ukr.net

Received 19 March 2014; accepted 25 April 2014.

Abstract. There are purposes, tasks of theoretical and experimental research and ways for their solution by calculation of flexible eccentrically compressed reinforced concrete elements stability using the deformation method. There are main provisions of developed calculation methods which are based on the use of real reinforcement and concrete deformation diagrams: methods which consider the peculiarities of elements work used for reinforcement concrete elements of different flexibility and used materials including those ones made with the use of high-strength concrete. The developed «exact» method which makes it possible to determine the stress-strain state of normal bar sections by deformation method with further determination of the element state is described. The actual deflection appeared in the process of loading is considered during the calculation. The developed simplified method of flexible eccentrically compressed reinforced concrete elements is given in the report. The given calculation method is based on the assessment of the most stressed section strength and on the use of real sections stiffness ($B = M / \delta$) calculated by determination of their stress-strain state using the deformation method. Thus, high accuracy of obtained results is achieved. The quantitative and qualitative assessment based on the compared data of experimental research of flexible eccentrically compressed reinforced concrete poles under the short-term load which is performed by the author of the report and other two researchers (A. N. Bambura and R. H. Kayumov) with the results of their calculation according to the developed methods is given. The analysis of obtained static distribution parameters shows that the proposed calculation methods give the stable results in assessment of critical load. Thus, at calculation by «exact» method the variation coefficient is $V_c = 8,5 \%$ and at calculation by simplified method it is $V_c = 15,5 \%$. Based on the results of performed researches there are basic conclusions including the possibility to use the given methods in practice of reinforced structure design in future.

Keywords: stability, load-bearing capacity, deformation method, «exact» method, simplified calculation method, accuracy assessment.

Введение

Современный рынок строительства при проектировании железобетонных конструкций требует обоснованной минимизации расхода строительных материалов. Одним из путей решения данной задачи является применение высокопрочных бетонов, что позволяет, в частности, уменьшать размеры поперечного сечения несущих конструкций, а соответственно, и их собственный вес. Однако уменьшение сечения несущих элементов в то же время приводит к увеличению их гибкости. Это обстоятельство требует от проектировщика умения учитывать в расчетах особенности работы таких элементов.

Однако действующие нормы на сегодняшний день [1] не содержат четких рекомендаций по расчету гибких сжатых элементов с учетом влияния прогиба на их устойчивость.

Основная часть

Целью исследований была разработка методики расчета устойчивости гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременной нагрузке деформационным методом.

Были сформулированы следующие задачи исследований:

- получить аналитические зависимости для определения прогибов гибких внецентренно сжатых элементов с учетом изменения жесткости по их длине, обусловленную физической нелинейностью задачи;
- разработать методику расчета устойчивости гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременной нагрузке и выполнить оценку ее точности и надежности;
- разработать упрощенную методику определения несущей способности внецентренно сжатых гибких железобетонных элементов, основанную на оценке прочности наиболее напряженного сечения с учетом продольного изгиба;
- выполнить экспериментальные исследования поведения гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов в зависимости от величины эксцентриситета приложения нагрузки.

Решение первой задачи обусловило необходимость получения уравнения состояния для гиб-

кого железобетонного элемента, в котором учитывалось бы изменение жесткости по его длине.

Эта задача была решена с помощью сплайн функций – было получено в общем виде уравнение состояния для гибкого внецентренно сжатого железобетонного элемента с произвольным закреплением на концах (1):

$$f_i = \alpha(f_1 + l_0/n \varphi_1(i-1) + l_0^2/n^2 [(3i-4)M_1/6B_1 + M_i/6B_i + \sum_{j=2}^i (i-j)M_j/B_j]), \quad (1)$$

где f_i – прогиб в i -ом сечении элемента;

f_1, φ_1 – начальные параметры, соответственно, прогиб и угол поворота опорного сечения;

l_0 – расчетная длина элемента;

n – количество участков разбиения;

M_1, M_i, M_j – соответственно, изгибающий опорный момент и моменты в i -ом и в j -ом сечениях;

B_1, B_i, B_j – соответственно жесткость опорного сечения и жесткость в i -ом и в j -ом сечениях;

$$\alpha = 1 / (1 + Nl_0^2 / 6n^2 B_1).$$

Определив из уравнения равновесия и условий опирания концов элемента значения начальных параметров и раскрыв функцию нагрузки, можно получить уравнение состояния элемента с любым закреплением на концах.

Для оценки напряженно-деформированного состояния нормального сечения используется деформационный метод, согласно которому при расчете задаются не приростом нагрузки, а приростом деформаций. В результате для каждого значения деформаций на любом этапе загрузки образца задача имеет единственное решение. Опыт показывает, что при расчете наиболее рационально задаваться величинами деформаций более сжатого волокна $\varepsilon_{c(1)}$. При этом используются предпосылки, регламентированные на сегодняшний день действующими в Украине нормами [1].

Обобщение полученных расчетных зависимостей и предпосылок позволило разработать методику расчета устойчивости гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременной нагрузке, которая сочетает в себе как единый алгоритм определения напряженно-деформированного состояния нормальных сечений стержня деформационным методом с последующим определением состояния элемента в целом [2].

Однако расчет устойчивости гибких внецентренно сжатых элементов с использованием «точной» методики является достаточно трудоемким. Поэтому для упрощения расчетного аппарата нами была разработана методика определения несущей способности гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов, подобная подходу, используемому в Строительных правилах 52-101-2003 [3], которые основаны на оценке прочности наиболее напряженного сечения. Однако, в отличие от подхода цитируемых норм, согласно которому используемая в расчетах жесткость сечения определяется приближенно, с помощью ряда эмпирических коэффициентов, упрощенная методика, предложенная нами, базируется на использовании реальных жесткостей сечений, полученных в результате определения их напряженно-деформированного состояния деформационным методом. Таким образом, достигается большая точность получаемых результатов.

Основные принципы и формулы расчета по упрощенной методике приведены в [4].

Для подтверждения правомерности предложенных методов расчета был запланирован и выполнен физический эксперимент.

Экспериментальные исследования предусматривали испытание основных образцов – шарнирно закрепленных на концах железобетонных гибких стоек и вспомогательных – бетонных кубов, призм, арматурных стержней. Всего было испытано 4 серии образцов-стоек по 3 образца в каждой, 15 кубов, 18 призм и 6 образцов арматурных стержней. Образцы были изготовлены из бетона класса С65/70.

Основные экспериментальные исследования выполнялись на железобетонных стойках с проектными размерами поперечного сечения 120×60 мм и длиной 1,5 м.

Особенностью методики исследования было то, что загрузка стоек выполнялась не в долях от нагрузки, а в долях от деформаций, которые отвечают вершине диаграммы деформирования бетона $\varepsilon_{c(1)}$. Благодаря этому удалось зафиксировать момент потери устойчивости железобетонных образцов и получить нисходящие ветви деформирования.

Методика и основные результаты проведенных экспериментальных исследований работы гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек приведены в [5].

Среди полученных результатов во время испытаний железобетонных стоек следует отметить следующие.

При испытании всех гибких железобетонных опытных образцов была зафиксирована потеря устойчивости: она наступала значительно раньше, чем происходило разрушение материала стоек. Это наглядно иллюстрируется на диаграммах, приведенных на рисунке 1. Кривые имеют характерное очертание с экстремумом, а большинство из них – достаточно протяжный ниспадающий участок. Как и ожидалось, варьирующий в данном эксперименте фактор существенным образом повлиял на значение критической нагрузки для опытных образцов. Так, при увеличении эксцентриситета с 2,5 мм для первой серии образцов до 20 мм для четвертой, среднее значение критической нагрузки в пределах одной серии уменьшилось в 3,6 раза, а максимальный прогиб, соответствующий этому значению нагрузки, увеличился в 2,7 раза. Разрушение материала образцов, как и ожидалось, происходило в наиболее напряженной зоне – зоне действия максимального момента в среднем по длине образца участке.

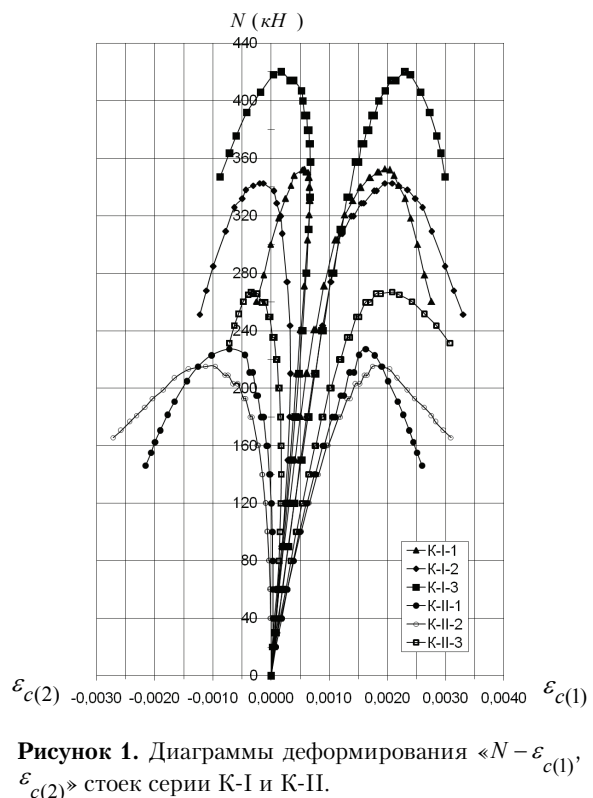


Рисунок 1. Диаграммы деформирования « $N - \varepsilon_{c(1)}$ » стоек серии К-I и К-II.

Результаты испытаний железобетонных стоек приведены в таблице 1.

Для оценки точности и надежности было выполнено сравнение результатов расчета по разработанным методикам, а также полученных согласно методике новых российских норм (СНиП 52-01-2003), с опытными данными (таблица 1).

Сравнение выполнялось по двум случайным величинам – критической нагрузке и, для «точной» методики, прогибом в наиболее напряженном сечении образца, ему соответствующему. К выборке были отнесены опытные данные, получен-

ные автором, а также результаты испытаний шарнирно опертых гибких стоек, выполненные в разные времена А. Н. Бамбурой и Р. Х. Каюмовым. В целом 61 образец.

Статистической обработке подлежали соотношения теоретических и опытных данных вышеупомянутых величин. Результаты статистической обработки указанных отношений приведены в конце таблицы 1.

Из анализа статистических параметров распределения следует, что предложенные нами методики расчета дают результаты в оценке критической

Таблица 1. Сопоставление результатов экспериментальных и теоретических данных

Автор эксперимента	Серия образцов	Гибкость образцов, λ	Экс-т, $e, мм$	$f, мм$			$N_{max}, кН$					Расч. Эксп. (Упр. расч.)	Расч. Эксп. (СНиП 52-01-2003)
				Расч.	Эксп.	Расч. Эксп.	Расч. («Точная» метод.)	Расч. (Упр. расч.)	Расч. (СНиП 52-01-2003)	Эксп.	Расч. Эксп. («Точная» метод.)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Бамбура А. Н. [10]	400-Иц	35	3,5	11,6	12,6	0,92	128,0	127,7	105,0	122,1	1,05	1,05	0,86
				11,9	12,1	0,98	124,1	125,5	103,9	113,2	1,10	1,11	0,92
				10,9	11,9	0,92	129,2	128,3	104,2	117,1	1,10	1,10	0,89
	400-Іе		10,0	12,0	13,1	0,92	69,3	66,1	75,5	60,1	1,15	1,10	1,26
				11,9	14,8	0,80	72,9	66,8	76,0	69,2	1,05	0,97	1,10
				11,4	12,5	0,91	75,0	69,0	76,4	71,0	1,06	0,97	1,08
	400-Іц		3,5	9,9	13,6	0,73	115,4	111,9	96,4	105,4	1,09	1,06	0,91
				9,1	13,3	0,68	117,6	110,6	93,5	101,0	1,16	1,10	0,93
				9,7	13,5	0,72	116,0	112,3	94,1	105,4	1,10	1,07	0,89
	800-Іц	3,5	13,1	15,2	0,86	152,9	154,1	116,5	130,4	1,17	1,18	0,89	
			12,3	14,8	0,83	164,0	156,0	116,1	148,5	1,10	1,05	0,78	
			12,7	15,1	0,84	160,1	153,2	115,6	126,2	1,27	1,21	0,92	
	800-Іе	10,0	13,3	13,3	1,00	79,0	81,2	83,1	75,1	1,05	1,08	1,11	
			12,5	14,2	0,88	80,2	80,4	82,7	64,0	1,25	1,26	1,29	
			12,9	13,2	0,98	77,5	82,1	84,0	76,2	1,02	1,08	1,10	
	800-Іц	3,5	10,8	14,5	0,74	158,4	163,1	119,0	155,2	1,02	1,05	0,77	
			10,6	12,5	0,85	160,2	165,2	119,6	162,0	0,99	1,02	0,74	
			11,4	13,1	0,87	154,0	162,0	118,2	132,1	1,17	1,23	0,89	
Гичко В. В.	К-І	25	2,5	8,2	8,9	0,92	370,0	321,5	270,2	352,0	1,05	0,91	0,77
				7,9	6,9	1,14	374,1	320,2	269,3	342,5	1,09	0,93	0,79
				7,5	7,9	0,95	377,6	323,8	271,8	420,1	0,90	0,77	0,65
	К-ІІ		10,0	11,8	10,5	1,12	216,8	182,9	179,0	227,3	0,95	0,80	0,79
				12,5	12,2	1,02	211,0	181,7	178,5	215,1	0,98	0,84	0,83
				10,7	10,2	1,05	225,1	183,3	179,3	266,9	0,84	0,69	0,67
	К-ІІІ		15,0	14,2	13,7	1,04	149,7	137,8	135,7	160,3	0,93	0,86	0,85
				14,8	13,8	1,07	142,5	135,7	132,2	145,1	0,98	0,94	0,91
				15,1	17,3	0,87	139,0	132,1	131,0	128,7	1,08	1,03	1,02
	К-ІV	20,0	18,7	22,3	0,84	98,7	95,3	119,3	97,4	1,01	0,98	1,22	
			18,4	21,0	0,88	100,7	96,1	119,6	98,8	1,02	0,97	1,21	
			17,6	21,7	0,81	106,3	96,4	118,2	112,6	0,94	0,86	1,05	

Окончание таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Каюмов Р. Х. [11]	К-1	35	7,0	16,7	15,3	1,09	129,8	112,0	97,9	122,3	1,06	0,92	0,80	
				16,2	14,8	1,09	132,5	110,4	97,1	115,1	1,15	0,96	0,84	
	К-2	35	4,67	12,4	14,7	0,84	155,0	145,2	112,1	156,4	0,99	0,93	0,72	
				12,6	14,3	0,88	153,7	143,6	111,2	152,8	1,01	0,94	0,73	
	К-3	25	2,5	6,6	9,0	0,73	330,5	320,1	243,8	300,5	1,10	1,07	0,81	
				7,1	8,3	0,86	327,8	318,0	241,9	289,2	1,13	1,10	0,84	
				7,0	8,5	0,82	328,4	317,6	241,5	284,1	1,16	1,12	0,85	
	К-4	30	3,0	7,9	11,2	0,71	212,3	220,0	165,2	195,3	1,09	1,13	0,85	
				8,0	10,6	0,75	211,2	217,3	164,3	188,4	1,12	1,15	0,87	
				8,4	9,1	0,92	207,8	219,1	164,7	193,6	1,07	1,13	0,85	
	К-5	35	3,5	8,9	11,8	0,75	146,2	153,1	119,3	153,2	0,95	1,00	0,78	
				9,3	11,3	0,82	143,9	155,5	119,0	149,4	0,96	1,04	0,80	
				9,5	12,4	0,77	142,4	157,6	118,2	145,7	0,98	1,08	0,81	
	К-6	35	7,0	9,3	10,1	0,92	84,3	105,0	99,5	88,1	0,96	1,19	1,13	
				9,9	9,7	1,02	79,4	102,4	96,8	68,0	1,17	1,51	1,42	
				9,5	9,1	1,04	81,8	102,7	97,6	77,1	1,06	1,33	1,27	
	К-7	35	4,67	7,6	11,9	0,64	86,2	116,1	110,4	93,2	0,92	1,25	1,18	
				7,2	11,2	0,64	90,0	118,0	112,9	98,4	0,91	1,20	1,15	
				7,4	11,7	0,63	89,4	116,8	111,6	94,1	0,95	1,24	1,19	
	К-8	25	2,5	5,4	8,6	0,63	230,7	235,4	224,4	198,3	1,16	1,19	1,13	
				5,5	8,8	0,63	222,4	233,1	223,9	194,6	1,14	1,20	1,15	
				5,6	8,4	0,67	219,4	238,1	225,8	204,8	1,07	1,16	1,10	
	К-9	35	3,5	6,2	9,5	0,65	94,1	117,4	113,9	103,2	0,91	1,14	1,10	
				6,3	9,1	0,69	92,8	116,0	113,1	95,1	0,98	1,22	1,19	
				6,5	10,5	0,62	90,0	114,8	112,5	94,8	0,95	1,21	1,19	
	К-10	25	2,5	6,6	8,1	0,81	171,2	138,4	204,1	152,7	1,12	0,91	1,34	
				6,7	7,7	0,87	170,1	137,2	204,9	155,3	1,10	0,88	1,32	
				6,3	7,5	0,84	175,2	140,0	205,7	158,7	1,10	0,88	1,30	
	К-11	35	3,5	7,5	11,2	0,67	77,0	110,0	106,4	76,0	1,01	1,45	1,40	
				7,8	11,8	0,66	75,9	108,1	104,8	75,1	1,01	1,44	1,40	
				7,4	9,6	0,77	77,4	108,8	105,6	78,3	0,99	1,39	1,35	
	\bar{X}						0,85					1,05	1,08	1,00
	σ						0,158					0,089	0,166	0,213
V_c						0,187					0,085	0,155	0,213	

Примечание: N_{\max} – максимальное значение нагрузки, которое отвечает экстремуму на диаграмме « $N - f$ »; f – значение прогиба в среднем по длине стойки сечения, которое отвечает значению нагрузки, равному N_{\max} ; $\lambda = l_0 / h$.

нагрузки стабильней, нежели методика действующих российских норм, о чем свидетельствует полученный коэффициент вариации.

При расчете по «точной» методике он составляет $V_c = 8,5\%$, а по упрощенной методике – $V_c = 15,5\%$. При расчете по методике СНиП 52-01-2003 коэффициент вариации составил 21,3%.

О качественной сходимости результатов расчета по «точной» методике с экспериментальными данными автора на примере серий образ-

цов К-I и К-IV можно судить по диаграммам, приведенным на рисунке 2. Приведенные кривые свидетельствуют о том, что разработанная методика расчета достаточно хорошо отображает моделируемый ею процесс как количественно, так и качественно.

Оценка точности и надежности расчетных формул выполнялась по методике, которая изложена в работе [6]. Результаты оценки точности и надежности разработанных методик и

методики СНиП 52-01-2003 приведены в таблице 2.

Анализ данных таблицы свидетельствует о том, что предложенные методики расчета имеют достаточно высокую точность.

Надежность расчета согласно «точной» методике составила $H = 0,9998$, по упрощенной – $0,9960$, а по методике СНиП 52-01-2003 надежность составляет $0,9912$.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. На основе аппроксимации изогнутой оси кубическим сплайном получено уравнение состояния для гибкого внецентренно сжатого железобетонного элемента, которое учитывает изменение жесткости по его длине на всех этапах загрузки образца. Уравнение справедливо при любых условиях закрепления на опорах.
2. Разработана «точная» методика расчета устойчивости гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременной нагрузке, которая базируется на использовании реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры и деформационного метода.
3. Установлено влияние на теоретическое значение критической нагрузки для гибких стоек количества участков разбиения гибких элементов по длине – при расчете по «точной» методике рекомендуется ограничиться разбиением элемента на 8-мь участков.
4. Выполненная оценка точности и надежности предложенной методики расчета устойчиво-

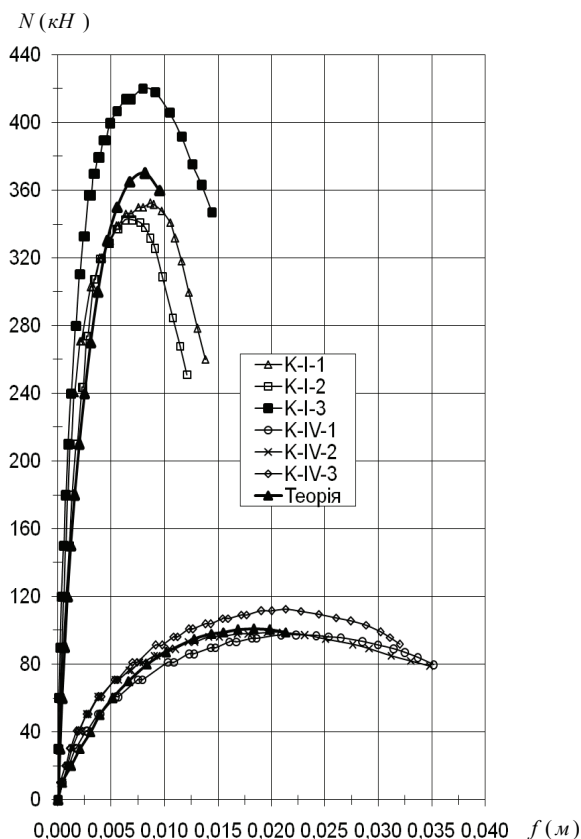


Рисунок 2. Диаграммы деформирования « $N - f$ » стоек серии К-I и К-IV.

сти гибких элементов показала высокую точность и достаточную надежность.

5. Разработанный упрощенный метод расчета гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов. Анализ сопоставления значений несущей способности, вычисленной с привлечением указанного метода, с опытными данными свидетельствует об удовлетворительной

Таблица 2. Обеспеченность точности расчетных методик

Обеспеченность точности	«Точный» расчет	Упрощенный расчет	Расчет согласно СНиП 52-01-2003
±5%	42,5	26,6	19,0
±10%	73,7	49,7	36,2
±15%	90,9	68,8	51,6
±20%	97,6	82,0	65,3
±25%	99,5	90,7	75,8
Надежность, H	0,9998	0,9960	0,9912

точности и надежности получаемых результатов и может быть рекомендован к применению на практике. Предложенный подход рекомендуется применять при значении относительного эксцентриситета продольной силы e/h равному не менее чем 0,15.

6. В результате выполненных экспериментальных исследований выявлены закономерности

поведения гибких шарнирно опертых железобетонных элементов из высокопрочного бетона в зависимости от величины эксцентриситета приложения кратковременной нагрузки.

7. Целесообразным считается использование разработанных методик при расчете пространственных железобетонных конструкций.

Литература

1. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – Уведено вперше; чинний від 2011–06–01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
2. Гичко, В. В. Несуча здатність гнучких позацентрово стиснутих стійок деформаційним методом [Текст] / В. В. Гичко // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 74: Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: зб. наук. пр.: у 2-х кн. Кн. 1 / Наук.-дослід. ін-т буд. конструкцій. – К.: НДІБК, 2011. – С. 623–628.
3. СНиП 52.01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст]. – Взамен СНиП 2.03.01-84; введ. 2004–03–01. – М.: Госстрой России, 2004. – 194 с.
4. Бамбура, А. М. Визначення стійкості залізобетонних гнучких позацентрово стиснутих елементів за спрощеною методикою [Текст] / А. М. Бамбура, В. В. Гичко // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 78: Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: зб. наук. пр.: у 2-х кн. Кн. 2 / Держ. п-во «Держ. НДІ буд. конструкцій». – Київ: НДІБК, 2013. – С. 64–71.
5. Гичко, В. В. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану позацентрово стиснутих гнучких стійок [Текст] / В. В. Гичко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2010. – № 38. – С. 138–143.
6. Лычев, А. С. Надёжность железобетонных конструкций [Текст]: учебно-методическое пособие для студентов V курса инженерно-строительных институтов / А. С. Лычев, В. П. Корякин; Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, Куйбышевский инженерно-строительный институт им. А. И. Микояна, Межкафедральная лаборатория исследования надёжности строительных конструкций. – Куйбышев: [б. и.], 1974. – 125 с.
7. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара [Текст] / Я. Г. Пановко // Инженерный сборник АН СССР. – М., 1953. – Т. XIX. – С. 55–64.
8. Бельский, Г. Е. Устойчивость сжатых стальных стержней с упругими защемлениями концов [Текст].

References

1. DSTU B V.2.6-156:2010. Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced concrete structures with heavy weight structural concrete. Design rule. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 118 p. (in Ukrainian)
2. Gichko, V. V. Load-carrying ability of elastic non-central compressed poles by bending methods. In: *Engineering constructions: International publishing house, research and technology collection: Issue 74: Scientific and technical problems of present-day reinforced concrete: Edited Volume. In two books, the first book.* Kyiv: NDIBK, 2011, p. 623–628. (in Ukrainian)
3. SNiP 52.01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. Principal rules. Moscow: Gosstroy of Russia, 2004. 194 p. (in Russian)
4. Bambura, A. M.; Gichko, V. B. Determination of durability of reinforced concrete elastic non-central compressed elements by simplified methods. In: *Engineering constructions: International publishing house, research and technology collection: Issue 78: Scientific and technical problems of present-day reinforced concrete: Edited Volume. In two books, the second book.* Kyiv: NDIBK, 2013, p. 64–71. (in Ukrainian)
5. Gichko, V. B. Experimental investigation of strain-stress state of non-central compressed elastic poles. In: *Mercury of Odessa National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2010, Number 38, p. 138–143. (in Ukrainian)
6. Lychov, A. S.; Koriakin, V. P. Durability of reinforced concrete constructions: Study guide for fifth year students of Civil Engineering institutes. Kuibyshev: [s. n.], 1974. 125 p. (in Russian)
7. Panovko, Ya. G. Basis of applicable theory of waveform and detonation. In: *Engineering collection.* Moscow, 1953, Volume XIX, p. 55–64. (in Russian)
8. Belskii, G. E. Startability of compressed steel rods, having elastic and restrain. Issue 10. Moscow: State publishing house of literature according to engineering, architecture and constructional materials, 1959. 148 p. (in Russian)
9. Bambura, A. M. Experimental basis of applied deformation theory of reinforced concrete: D.Sc. in Engineering Science thesis: 05.23.01. Kyiv, 2005. 328 p. (in Ukrainian)

- Научное сообщение. Выпуск 10 / Г. Е. Бельский. – М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959. – 148 с.
9. Бамбура, А. М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону [Текст] : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Бамбура Андрій Миколайович. – К., 2005. – 328 с.
 10. Бамбура, А. Н. Исследование кратковременной устойчивости сжатых железобетонных элементов при нешарнирном закреплении на концах [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.01 / Бамбура Андрей Николаевич. – К., 1978. – 199 с.
 11. Каюмов, Р. Х. Устойчивость гибких железобетонных стержней из высокопрочного бетона [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Каюмов Рашид Хайретдинович. – К., 1972. – 201 с.
 12. Бачинский, В. Я. Устойчивость длительно нагруженных стержней при различном закреплении концов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Бачинский В. Я. – К., 1970. – 282 с.
 13. Таль, К. Э. Экспериментальные исследования гибких железобетонных стержней при длительном нагружении [Текст] / К. Э. Таль, Е. А. Чистяков // Исследование прочности, жёсткости и трещиностойкости железобетонных конструкций. – 1962. – Выпуск 26. – С. 30–58.
 14. Пешкова, И. Н. Устойчивость и устойчивая прочность железобетонных стержневых конструкций [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.01 / Пешкова Ирина Николаевна. – К., 1988. – 197 с.
 15. Бамбура, А. Н. К оценке прочности железобетонных конструкций на основе деформационного подхода и реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры [Текст] / А. Н. Бамбура // Бетон на рубеже третьего тысячелетия : Материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона, 9–14 сентября 2001 г. В 3-х кн. Кн. 2: Секционные доклады / [Рос. науч.-техн. о-во строителей, Госстрой России, Ассоц. «Железобетон» ; сост.: Ю. С. Волков, Л. П. Солодчина, пер. с англ. В. П. Трамбовецкий [и др.]. – М. : Ассоциация «Железобетон», 2001. – С. 750–757.
 10. Bambura, A. M. Research of short-time durability of compressed reinforced concrete elements under non-pinning across: Ph.D. in Engineering Science thesis: 05.23.01 Kyiv, 1978. 199 p. (in Russian)
 11. Kaiumov, R. H. Hardiness of elastic reinforced concrete rods, made from high quality concrete: Ph.D. in Engineering Science thesis: 05.23.01. Kyiv, 1972. 201 p. (in Russian)
 12. Bachinskii, V. Ya. Hardiness of durability uploaded rods at different anchorage: Ph.D. in Engineering Science thesis: 05.23.01. Kyiv, 1970. 282 p. (in Russian)
 13. Tal, K. Ye.; Chistiakov, E. A. Experimental investigation of elastic reinforced concrete rods at long-time compression test. In: *Analysis of strength, toughness and resistance of reinforced concrete constructions*, 1962, Issue 26, p. 30–58. (in Russian)
 14. Peshkova, I. N. Hardiness and hard strength of reinforced concrete rod constructions: Ph.D. in Engineering Science thesis: 05.23.01. Kyiv, 1988. 197 p. (in Russian)
 15. Bambura, A. N. To the strength assessment of reinforced concrete constructions based on bending approach and real deformation curve of concrete and armature. In: *Concrete at the turn of the third millennium: Materials of the first All-Russian conference according to the problems of concrete and reinforced concrete, the 9–14th of September, 2001. In three books. The second book: Sectional reports*. Moscow: Association «Reinforced concrete» 2001, p. 750–757. (in Russian)

Гічко Віталій Вікторович – молодший науковий співробітник відділу надійності конструкцій, лабораторії комп'ютерного моделювання надійності будівельних конструкцій Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Наукові інтереси: дослідження стійкості гнучких позacentрово стиснутих залізобетонних елементів деформаційним методом із урахуванням особливостей роботи таких елементів.

Гичко Виталий Викторович – младший научный сотрудник отдела надежности конструкций, лаборатории компьютерного моделирования надежности строительных конструкций Государственного предприятия «Научно-исследовательский институт строительных конструкций». Научные интересы: исследование устойчивости гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов деформационным методом с учетом особенностей работы таких элементов.

Gichko Vitaliy – junior research scientist, department of structure reliability, laboratory for computer modeling of building structures reliability; State enterprise «The state research institute of building constructions». Scientific interests: research of flexible eccentrically compressed reinforced concrete elements stability by the deformation method considering the peculiarities of elements work.