

**О ПРИМЕНЕНИИ ЛИНЕАРИЗИРОВАННЫХ ДИАГРАММ
«ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ – КРИВИЗНА»
ПРИ РАСЧЕТЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Дорофеев В.С., профессор, Ковров А.В., профессор,
Ковтуненко А.В., ассистент**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Актуальность исследований. Необходимость развития и совершенствования методик расчета железобетонных статически неопределимых конструкций, с использованием подходов деформационной теории, обусловлена требованиями действующих нормативных документов.

Целью работы является сравнение экспериментальных данных с результатами расчета железобетонной статически-неопределимой рамной конструкции с использованием линеаризованных диаграмм «изгибающий момент – кривизна».

В ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования» [1] для определения несущей способности сечений железобетонных элементов предлагается построение диаграмм «момент – кривизна» при помощи шагово-итерационного метода.

Однако шагово-итерационный метод построения диаграмм позволяет получить массивы значений кривизн и соответствующих им изгибающих моментов, использование которых вызывает сложности при непосредственном использовании для расчета конструкций. В связи с этим, для практических целей в работе [2] предложена методика построения линеаризованных диаграмм «изгибающий момент – кривизна» для прямоугольных сечений изгибаемых железобетонных элементов.

В Киевском национальном университете строительства и архитектуры А.Я.Барашиковым, Л.А.Мурашко и Г.М.Реминцем [3] выполнены обширные исследования работы П-образных железобетонных рам при действии повторных длительных нагрузок. Программой исследований предусматривалось испытание двух рам одноразовой кратковременной нагрузкой вплоть до разрушения. Конструкция рам представлена на рис. 1.

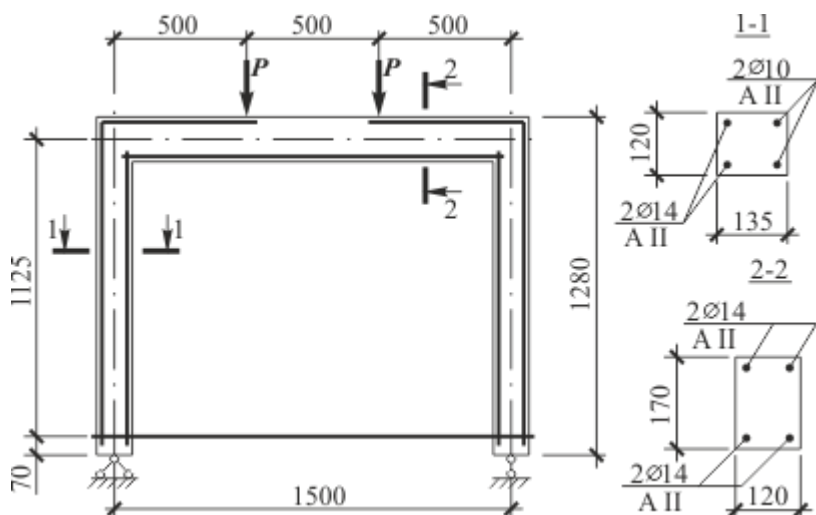


Рис. 1 Конструкция рамы РП₂₈ [3]

Рамы имели следующие проектные размеры в осях: высота $H = 1125$ мм; пролет $L = 1500$ мм. Ригель имел сечение размерами 120×170 мм, стойка – 120×135 мм. Для армирования рамы использовалась арматура класса А-II, имеющая предел текучести $\sigma_y = 338$ МПа и модуль упругости $E_s = 213000$ МПа. Максимальные деформации арматуры, соответствующие σ_y , составляют $\epsilon_{sR} = 159 \times 10^{-5}$.

Испытание трех образцов рамы РП₂₈ проводилось на действие одноразовой кратковременной нагрузки до разрушения в возрасте 28 суток. Призмная прочность бетона на момент испытания составляла $R_b = 36,2$ МПа.

Авторами задачу определения напряженно-деформированного состояния железобетонных статически-неопределимых рамных конструкций предлагается решать при помощи метода последовательного уточнения жесткостей. При этом элементы конструкции разбиваются на участки с постоянной по длине жесткостью.

Физический закон деформирования сечений железобетонной рамы имеет вид:

$$M = B\chi, \quad (1)$$

где M – изгибающий момент; B – изгибная жесткость сечения;
 χ – кривизна сечения.

Для каждого участка конструкции, имеющего постоянную изгибную жесткость, в соответствии с предложениями изложенными в работе [2], строится линеаризованная диаграмма «изгибающий момент – кривизна».

На первом этапе расчета изгибная жесткость всех элементов принимается упругой и определяется на основе формулы (1) как отношение момента трещинообразования к кривизне соответствующей началу работы элемента с трещинами

В результате расчета заданной конструкции определяются значения изгибающих моментов, возникающих в элементах конструкции. На основе формулы (1) по принятым значениям жесткостей и полученным значениями изгибающих моментов, определяются значения кривизн.

На втором и последующих этапах расчета, в соответствии с полученными на предыдущей итерации значениями кривизн, по диаграммам «изгибающий момент – кривизна» для каждого участка уточняется значение изгибной жесткости.

Значения изгибающих моментов, полученные в результате расчета на втором и последующих этапах, сравниваются со значениями, полученными на предыдущей итерации. Расчет продолжается до тех пор, пока разница между значениями на текущей и предыдущей итерации не окажется меньше заданной величины ξ , характеризующей точность расчета

$$\left| \frac{M^{(s)} - M^{(s-1)}}{M^{(s)}} \right| \leq \xi. \quad (2)$$

При помощи программы, составленной в системе компьютерной математики MATLAB, в соответствии с предлагаемой методикой расчета железобетонных рамных конструкций был произведен расчет экспериментальной рамы РП₂₈ [3] на каждой ступени нагружения.

Физические характеристики бетона, необходимые для построения линеаризованных диаграмм, определены в зависимости от призмной прочности бетона по формулам, приведенным в работах [4, 5]:

- начальный модуль упругости бетона $E_b = 26377$ МПа;
- деформация бетона, соответствующая максимуму на диаграмме «напряжение – деформация» при сжатии бетона $\epsilon_{bR} = 244 \times 10^{-5}$;
- предельная деформация бетона при сжатии $\epsilon_{bu} = 339 \times 10^{-5}$;
- прочность бетона при растяжении $R_{bt} = 2,54$ МПа;
- деформация бетона, соответствующая максимуму на диаграмме «напряжение – деформация» при растяжении бетона $\epsilon_{bTR} = 9,63 \times 10^{-5}$;
- предельная деформация бетона при растяжении $\epsilon_{btu} = 19,2 \times 10^{-5}$.

С использованием приведенных характеристик бетона и арматуры экспериментальных рам РП₂₈ [3], по предложениям, изложенным в работе [2], построены линейаризированные диаграммы «изгибающий момент – кривизна» для пролетных и приопорных сечений ригеля, приведенные на рис 2, 3.

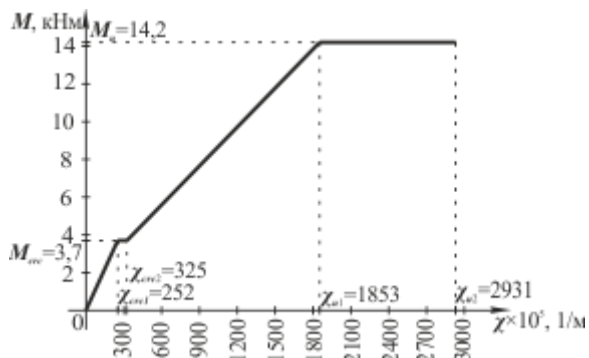


Рис. 2 Диаграмма «изгибающий момент – кривизна» для пролетных сечений ригеля

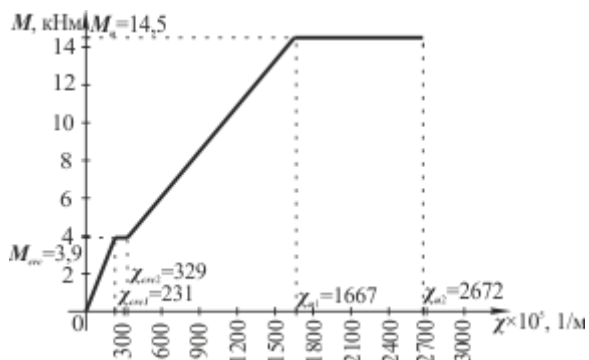


Рис. 3 Диаграмма «изгибающий момент – кривизна» для приопорных сечений ригеля

В таблице 1 приведено сравнение экспериментальных и расчетных значений изгибающих моментов, полученных по предлагаемой методике, и статистическая оценка распределения отношения экспериментальных и расчетных значений изгибающих моментов M_{exp}/M_{teor} .

Таблица 1

Сравнение экспериментальных и теоретических значений изгибающих моментов в раме РП₂₈ [3]

P , кН	H^{exp} , кН	$M_{\text{sup}}^{\text{exp}}$, кН	$M_{\text{sup}}^{\text{teor}}$, кН	$\frac{M_{\text{sup}}^{\text{exp}}}{M_{\text{sup}}^{\text{teor}}}$	$M_{\text{sp}}^{\text{exp}}$, кН	$M_{\text{sp}}^{\text{teor}}$, кН	$\frac{M_{\text{sp}}^{\text{exp}}}{M_{\text{sp}}^{\text{teor}}}$
0	0	0	0	-	0	0	-
5	0,64	0,72	0,87	0,83	1,78	1,63	1,09
10	1,96	2,21	1,73	1,28	2,80	3,27	0,86
15	2,68	3,02	2,98	1,01	4,49	4,52	0,99
20	3,34	3,77	4,14	0,91	6,23	5,86	1,06
25	4,36	4,91	5,17	0,95	7,60	7,33	1,04
30	5,67	6,38	6,17	1,03	8,62	8,83	0,98
35	6,01	6,76	7,14	0,95	10,74	10,36	1,04
40	7,12	8,01	8,11	0,99	11,99	11,89	1,01
45	8,00	9,00	9,38	0,96	13,50	13,12	1,03
50	9,86	11,09	11,36	0,98	13,91	13,64	1,02
55	10,10	11,36	12,56	0,90	16,14	14,94	1,08
Выборочное среднее, M_x				0,98	1,02		
Выборочная дисперсия, D_x				0,11	0,06		
Выборочный коэффициент вариации, C_v				0,12	0,06		
Доверительный интервал (при $P = 0,95$)	верхний предел			0,91	0,98		
	нижний предел			1,05	1,06		

Выводы:

Использование линеаризованных диаграмм «изгибающий момент – кривизна», построенных на основании деформационной модели работы сечений железобетонных элементов позволяет с достаточной точностью определять напряженно-деформированное состояние железобетонных рамных конструкций при любом уровне нагрузки.

Summary

In article the analysis method of the statically indeterminate reinforced concrete frame structures with application of linearized diagrams “bending moment – curvature” is described. The experimental data and the analysis data are compared.

Литература

1. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. – Офіц.изд. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 166с. – (Нормативний документ Мінрегіонбуд України)
2. Дорофеев В.С. К построению линеаризованных диаграмм деформирования изгибаемых железобетонных элементов / В.С.Дорофеев, А.В.Ковров, А.В.Ковтуненко, Н.К.Высочан // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць. №22., Рівне, НУВГП, 2011. – С.320-327.
3. Барашиков А.Я. Исследование деформативности железобетонных рам. / А.Я.Барашиков, Л.А.Мурашко, Г.М.Реминец, - Киев: Издательство «Будівельник», 1974. – 86 с.
4. Бамбура А.М. Експериментальні основи прикладної деформативної теорії залізобетону: дис. на здоб. наук. ст. доктора техн. Наук : спец 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / А.М.Бамбура – Київ: НДІБК, 2005, - 379 с.
5. Теория железобетона на экспериментальной основе / А.Б.Гольшев, П.И.Кривошеев, А.Н.Бамбура.: под. ред. А.Б.Гольшева. – К.: Гамма-Принт. – 2009. – 397 с.