

## ПРОЧНОСТЬ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Крантовская Е.Н., Петров А.Н.,  
Петров Н.Н. (Одесская государственная академия строительства и  
архитектуры, г. Одесса, Украина)

Приведена часть результатов планируемого эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния средних приопорных участков неразрезных двухпролетных балок. Установлено количественное и качественное влияние как в отдельности, так и во взаимодействии друг с другом таких факторов как относительный пролет среза ( $a/h_0$ ), класс бетона (В), количество поперечного ( $\mu_{sw}$ ), нижнего ( $\mu_s$ ) и верхнего продольного ( $\mu'_s$ ) армирования на основные параметры работоспособности наклонных сечений указанных железобетонных элементов.

Учитывая необходимость уточнения напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных балок в местах смены знака и величины изгибающего момента [1], в лаборатории кафедры сопротивления материалов ОГАСА выполнен планируемый эксперимент по изучению: влияния величины пролета среза, прочности бетона, коэффициента поперечного, продольного нижнего и верхнего армирования на процесс образования и развития наклонных трещин, а также разрушения приопорных участков неразрезных балок при действии кратковременных нагрузок. Исследования проводились с целью пополнения банка экспериментальных данных готовящегося к пересмотру соответствующего раздела ДБН.

Анализ априорной информации показал, что наибольшее влияние на исследуемое явление оказывают факторы представленные в табл. 1. Некоторые основные параметры работоспособности исследуемых балок приведены в табл.2.

После обработки результатов экспериментов, исключения незначимых и перерасчета оставшихся коэффициентов уравнений регрессии получили адекватные математические модели, обладающие достаточной информационной полезностью по которым можно судить о количественном и качественном влиянии основных исследуемых факторов, как в отдельности, так и во взаимодействии друг с другом на основные параметры работоспособности исследуемых приопорных участков.



Таблица 1

Код	Исследуемые факторы У серии	Уровни варьирования			Интервал варьиров.	Примечания
		«-1»	«0»	«+1»		
X <sub>1</sub>	Натуральные значения Относительный пролет среза, a/h <sub>0</sub>	1 (15,5см)	2 (31,0см)	3 (46,5см)	1 (15,5см)	2L=8h <sub>0</sub> +8h=248см; h <sub>0</sub> =15,5см; b=10,0см; s=7,75см.
X <sub>2</sub>	Класс бетона, В, МПа	B15	B25	B35	10	
X <sub>3</sub>	Коэффициент поперечного армирования, μ <sub>ср</sub> (B <sub>рI</sub> )	0,0018 (2Ø3мм)	0,0032 (2Ø4мм)	0,0050 (2Ø5мм)	≈0,0016	
X <sub>4</sub>	Коэффициент нижнего продольного армирования балки, μ <sub>s</sub> (A500С)	0,0101 (2 Ø10)	0,0146 (2 Ø12)	0,0199 (2 Ø14)	≈0,0049	
X <sub>5</sub>	Коэффициент верхнего продольного армирования балки, μ' <sub>s</sub> (A500С)	0,0101 (2 Ø10)	0,0146 (2 Ø12)	0,0199 (2 Ø14)	≈0,0049	



Таблица 2

№ опыта	Кодированные значения факторов						Средние по опытам параметры работоспособности опытных балок						Перераспределение моментов из-за текучести продольной арматуры
	X1	X2	X3	X4	X5		$F_{сж}$ , кН	$R_{сж}$ , кН	$C_0/h_0$	$\sigma_{сж}^{пр}$ , $10^5$	$\sigma_{сж}^{пр}$ , $10^5$		
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	
1	+1	+1	+1	+1	+1		132	108	2,09	165	215	Да	
2	-1	-1	+1	+1	+1		123	121	0,76	235	235	Нет	
3	-1	+1	-1	-1	-1		107	105	0,79	160	210	Да	
4	+1	-1	-1	-1	-1		51	42	1,84	200	250	Да	
5	-1	+1	-1	+1	+1		152	149	0,65	145	235	Нет	
6	+1	-1	-1	+1	+1		62	51	2,17	200	190	Нет	
7	+1	+1	+1	-1	-1		110	90	1,36	245	255	Да	
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10	11	12	
8	-1	-1	+1	-1	-1		71	70	0,66	235	260	Нет	
9	-1	+1	+1	+1	-1		181	177	0,64	215	255	Да	
10	+1	-1	+1	+1	-1		91	74	2,34	210	260	Да	
11	+1	+1	-1	-1	+1		71	58	2,22	190	190	Нет	



Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	-1	-1	-1	-1	+1	104	102	0,69	220	220	Нет
13	-1	+1	+1	-1	+1	171	168	0,71	190	190	Да
14	+1	-1	+1	-1	+1	73	59	1,74	230	285	Да
15	+1	+1	-1	+1	-1	100	82	1,44	135	205	Да
16	-1	-1	-1	+1	-1	90	88	0,77	180	250	Да
17	+1	0	0	0	0	117	95	1,72	195	230	Да
18	-1	0	0	0	0	137	134	0,7	200	230	Да
19	0	+1	0	0	0	125	114	1,35	180	210	Да
20	0	-1	0	0	0	65	59	1,52	215	250	Нет
21	0	0	+1	0	0	104	95	1,57	215	240	Да
22	0	0	-1	0	0	87	80	1,57	180	220	Да
23	0	0	0	+1	0	94	86	1,48	185	230	Да
24	0	0	0	-1	0	92	84	1,35	210	230	Да
25	0	0	0	0	+1	112	102	1,47	195	220	Да
26	0	0	0	0	-1	102	93	1,08	200	240	Да
27	0	0	0	0	0	98	90	1,26	200	230	Да



$$\begin{aligned} \widehat{Y}_{Q_u} = & 93,1 - 25,3X_1 + 21,4X_2 + 11,4X_3 + 8,8X_4 + 5,4X_5 + \\ & + 21,0X_1^2 - 7,0X_2^2 - 6X_3^2 - 8,5X_4^2 + 4,0X_5^2 - 6,6X_1X_2 - \\ & - 7,0X_1X_5 + 6,8X_2X_3, \text{ кН} \quad (\nu \cong 5\%) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \widehat{Y}_{c_0/h_0} = & 1,39 + 0,59X_1 - 0,07X_2 + 0,05X_4 + 0,09X_5 - \\ & - 0,17X_1^2 + 0,19X_2^2 - 0,10X_5^2 - 0,06X_1X_2 + 0,06X_1X_4 + \\ & + 0,08X_1X_5 - 0,09X_2X_4 + 0,11X_2X_5 + 0,12X_3X_4, \text{ кН} \\ & (\nu \cong 4\%) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \widehat{Y}_{\varepsilon_{bu}^{on}} = & 230 - 13,1X_2 + 12,5X_3 - 11,4X_4 + 9,7X_1X_3 - \\ & - 12,8X_1X_4 + 9,1X_2X_3, \text{ кН} \quad (\nu \cong 4\%) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \widehat{Y}_{\varepsilon_{ku}^F} = & 197,4 - 16,7X_2 + 18,3X_3 - 11,7X_4 + 3,4X_1X_2 - \\ & - 7,8X_1X_4 - 7,8X_2X_5 - 10X_3X_5, \text{ кН} \quad (\nu \cong 5\%) \end{aligned} \quad (4)$$

Анализируя математическую модель (1), видно, что наибольшее влияние на разрушающую поперечную силу оказывает относительный пролет среза ( $X_1$ ), затем прочность бетона  $X_2$  и процент поперечного армирования ( $X_3$ ). Количество нижнего и верхнего продольного армирования оказывает менее значительное влияние на исследуемый выходной параметр  $Q_u$ .

Геометрическая интерпретация влияния исследуемых факторов на исследуемый параметр представлена на рис. 1.



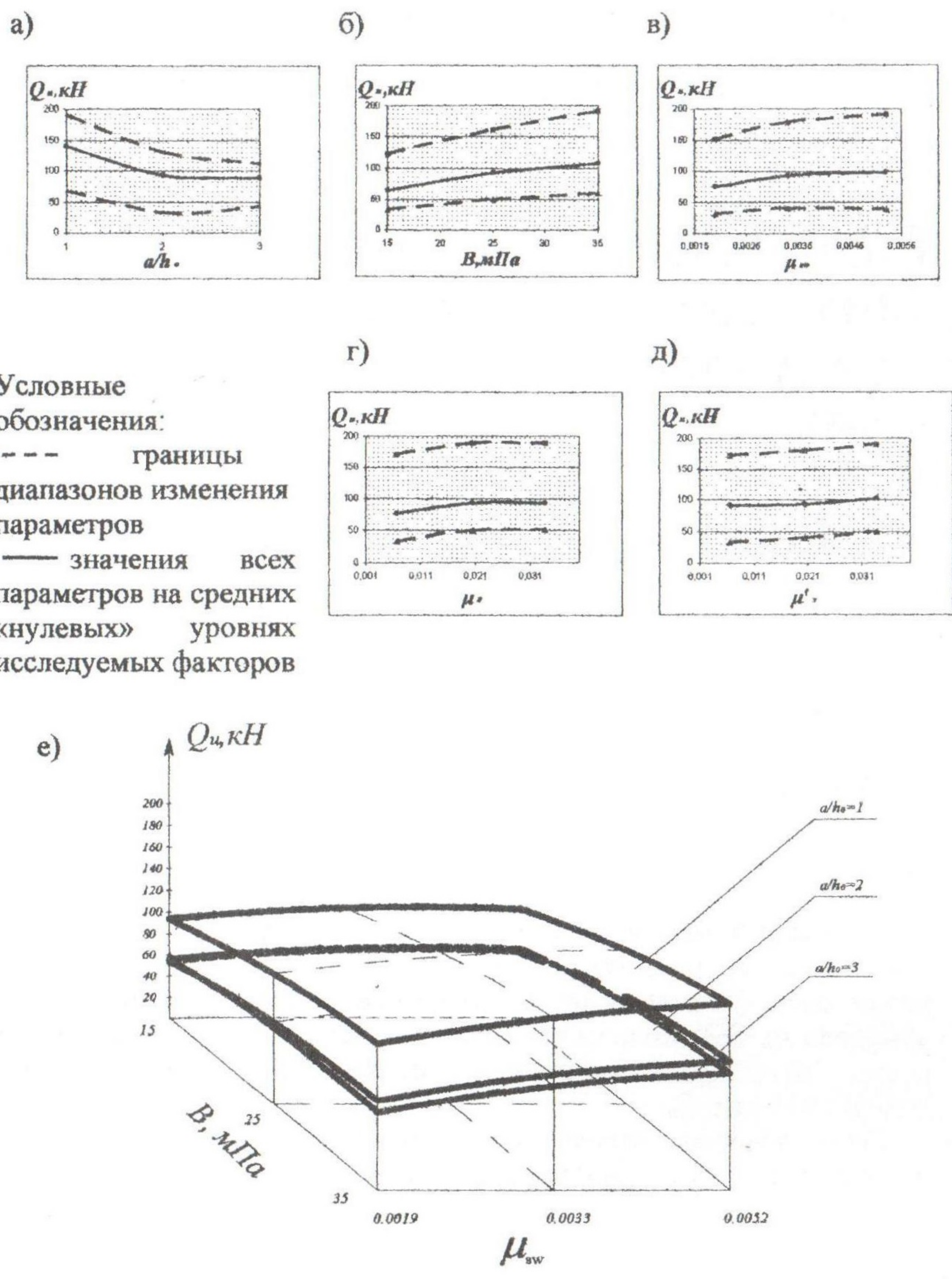


Рис. 1. Влияние относительного пролета среза (а), класса бетона (б), количества поперечного (в), нижнего (г) и верхнего продольного армирования (д), а также совместное влияние (е) исследуемых факторов на величину разрушающей поперечной силы



На длину проекции наклонной трещины, как показывает модель (2), также наибольшее влияние (рис.2) оказывает относительный пролет среза (X1), затем количество верхнего продольного армирования (X5) и прочность бетона (X2).

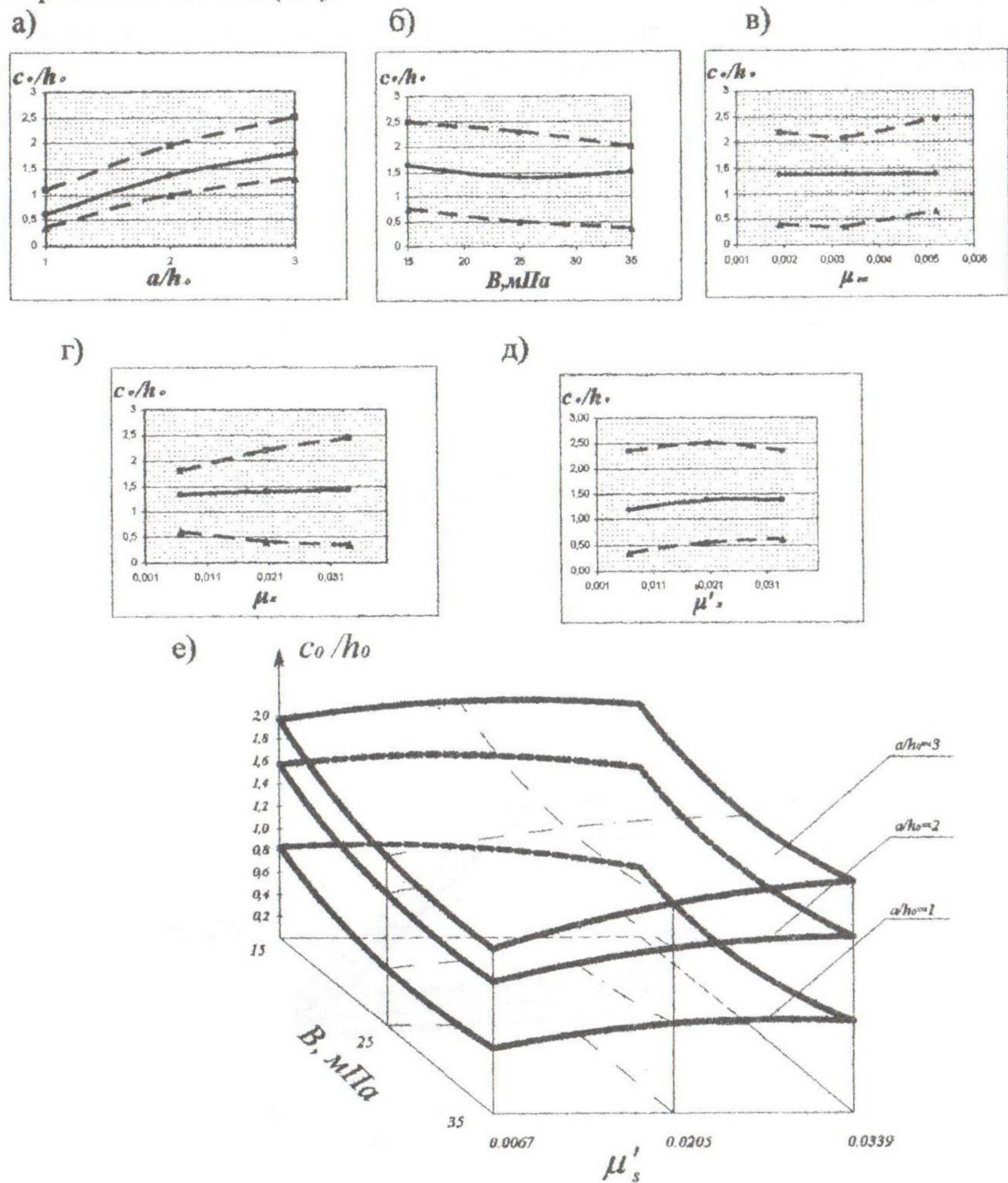


Рис.2. Влияние относительного пролета среза (а), класса бетона (б), количества поперечного (в), нижнего (г) и верхнего продольного армирования (д), а также совместное влияние (е) исследуемых факторов на длину проекции наклонной трещины



Деформации сжатого бетона под сосредоточенными силами и над опорой в большей степени зависят от прочности бетона (X2), количества поперечного армирования (X3), а также количества нижнего продольного армирования (X4). Изменение деформаций бетона под сосредоточенными силами перед разрушением в зависимости от изменения исследуемых факторов показано на рис.3.

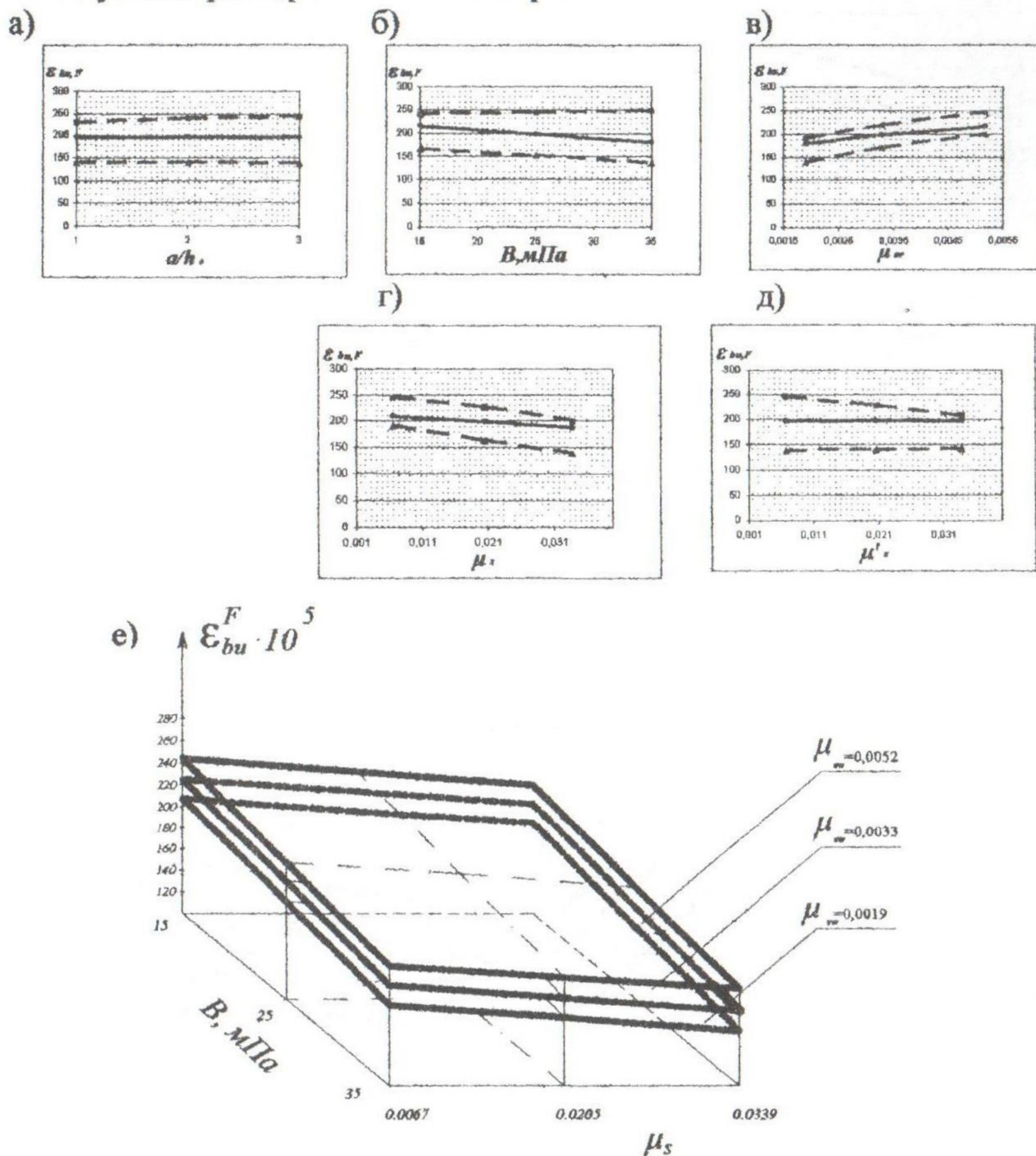


Рис.3. Влияние относительного пролета среза (а), класса бетона (б), количества поперечного (в), нижнего (г) и верхнего продольного армирования (д), а также совместное влияние (е) исследуемых факторов на деформации бетона под сосредоточенными силами



Изменение характера деформаций сжатого бетона над средней опорой перед разрушением показано на рис.4.

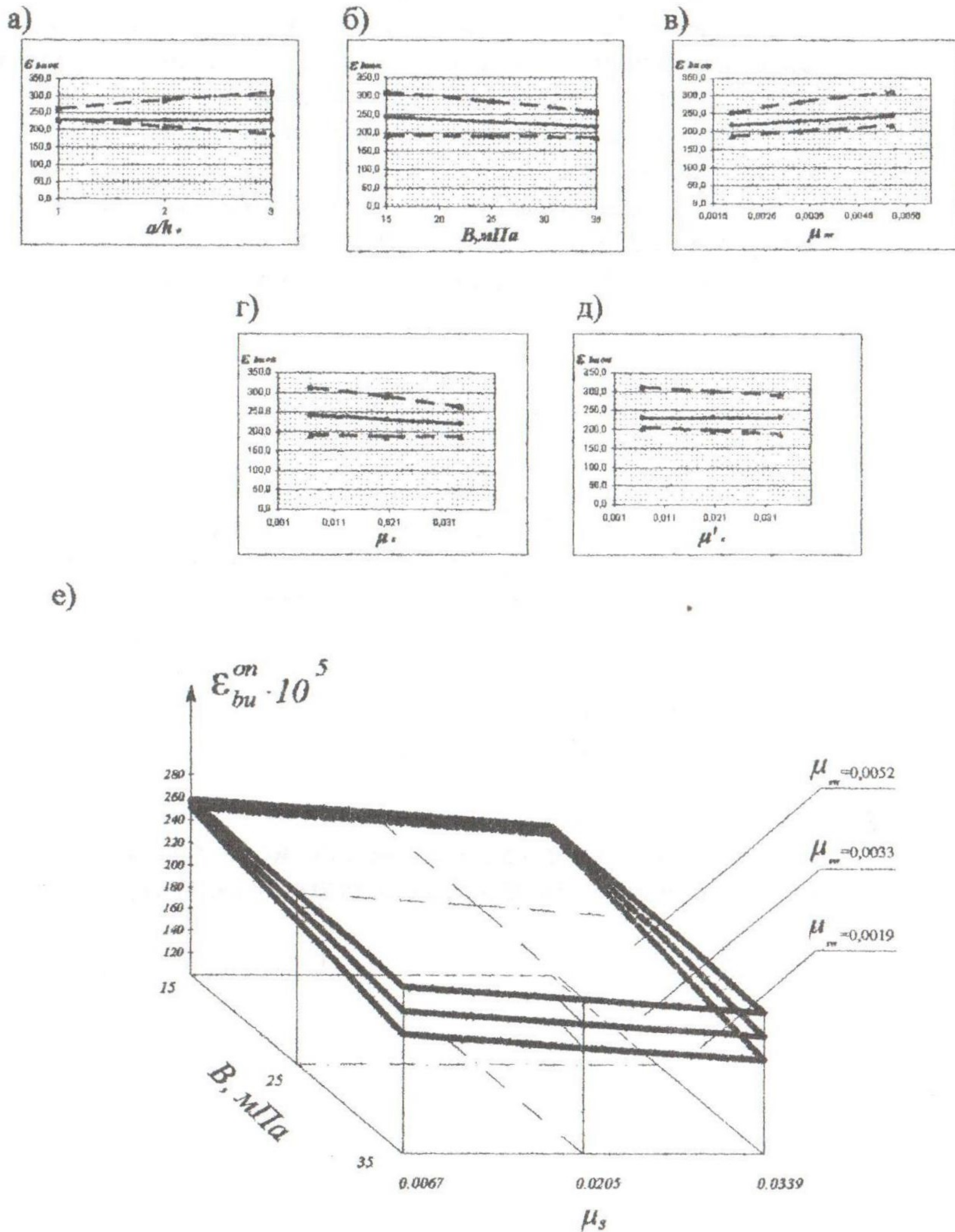


Рис.4. Влияние относительного пролета среза (а), класса бетона (б), количества поперечного (в), нижнего (г) и верхнего продольного армирования (д), а также совместное влияние (е) исследуемых факторов на деформации бетона под сосредоточенными силами



### *Выводы*

1. Использование математической теории планирования эксперимента [2] позволило объективно оценить влияние как в отдельности, так и во взаимодействии друг с другом исследуемых факторов на основные параметры работоспособности наклонных сечений неразрезных железобетонных балок.
2. Полученные данные лягут в основу совершенствования инженерного метода расчета прочности наклонных сечений указанных конструкций, физической модели их работы.

### *Литература*

1. Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Аветисян А.Г., Крантовская Е.Н., Карпюк Ф.Р., Шепетюк Н.И., Ярошевич Н.Н. О необходимости и постановке системных исследований прочности, трещиностойкости и деформативности приопорных участков железобетонных элементов, испытывающие сложные деформации, с целью уточнения и развития методов их расчета. // Будівельні конструкції/ Зб. наук. праць, вип. 62. - Київ.: НДБК, 2005. С.160-167.].
2. Вознесенский В.А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - 2-е изд., испр. и доп. - М: Финансы и статистика, 1981, С. 215.