

УДК 624.04

© Ле Куанг Хюи, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: lqh189@lqdtu.edu.vn

DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-1-26-35

© Le Quang Huy, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: lqh189@lqdtu.edu.vn

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЬНОЙ АРМАТУРЫ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ

EXPERIMENTAL-THEORETICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF LONGITUDINAL REINFORCEMENT ON THE SHEAR-BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON INCLINED SECTION

На основе двухблочной модели, предложенной профессором А. А. Гвоздевым и его коллегами, в статье представлена методика расчета несущей способности железобетонных балок с прямоугольными сечениями по наклонным сечениям с учетом влияния продольного содержания арматуры. Предложены простые формулы для учета этого влияния на несущую способность железобетонной балки по наклонному сечению. Полученные экспериментальные результаты показывают, что предложенные формулы обеспечивают лучшую точность и эффективно учитывают влияние продольной арматуры на несущую способность по наклонным сечениям балок.

Ключевые слова: железобетонная балка, продольная арматура, прочность на сдвиг, нормальные напряжения, касательные напряжения, разрушение, наклонная трещина.

Based on the 2-block model proposed by Professor A. A. Gvozdev and colleagues, the article presents a method for calculating the bearing capacity of reinforced concrete beams with rectangular cross-sections according to inclined cross-sections taking into account the influence of longitudinal reinforcement content. Simple formulas are proposed to account for this influence on the load-bearing capacity of a reinforced concrete beam in an inclined section. The experimental results obtained by the authors show that the proposed formulas provide better accuracy and effectively take into account the influence of longitudinal reinforcement on the bearing capacity in inclined beam sections.

Keywords: reinforced concrete beam, longitudinal reinforcement, shear strength, normal stresses, tangential stresses, failure, inclined crack.

Введение

Расчет прочности железобетонной конструкции при действии поперечных сил по предельным состояниям производится исходя из равновесия внешних и внутренних сил в наклонном сечении с участком с критической наклонной трещиной, по которой происходит разрушение. Формулы в норма-

тивных документах являются как эмпирическими, так и полуэмпирическими, что приводит к тому, что конечный результат имеет некоторые ограничения.

В частности, стандарт СП 63.13330.2018 не принимает во внимание влияние различного содержания продольной арматуры на прочность железобетонных балок на сдвиг,

что, однако, учитывается в стандартах АСІ 318–19, Еврокод 2 2004.

По мнению профессора А. С. Залесова [1], содержание арматуры в зоне растяжения влияет на несущую способность при разрушении элементов по наклонной трещине в зоне сжатия (раздробления) бетона или разрушения от среза бетона над наклонной трещиной. В большей степени это проявляется в элементах без поперечной арматуры.

В России исследованию этого вопроса посвящены работы А. А. Гвоздева [2], А. С. Залесова [1, 3], Дау Тьеколо [4], П. П. Польского [5], А. С. Силантьева [6], В. Б. Филатова и Е. В. Блинковой [7], А. С. Крылова в соавторстве [8], И. Н. Старишко [9]. Однако в предложенных методах расчета формулы для учета влияния продольной арматуры на несущую способность по наклонному сечению сложны или требуют множество промежуточных шагов, что затрудняет их применение при включении в стандарт.

В данной статье представлена методика расчета несущей способности железобетонных балок прямоугольного профиля по наклонным сечениям с учетом влияния продольного содержания арматуры. Предложены простые формулы для замены в стандарте СП 63.13330.2018 условия

$$Q_1 \leq Q_{b1} + Q_{sw1} = 0,5R_{bt}bh_0 + q_{sw}h_0, \quad (1)$$

где Q_1 — поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки;

$$Q_{b1} = 0,5R_{bt}bh_0. \quad (2)$$

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что при определении несущей способности по наклонному сечению балки предложенная формула, учитывающая влияние продольной арматуры, имеет более высокую точность, чем расчет по действующему стандарту СП 63.13330.2018.

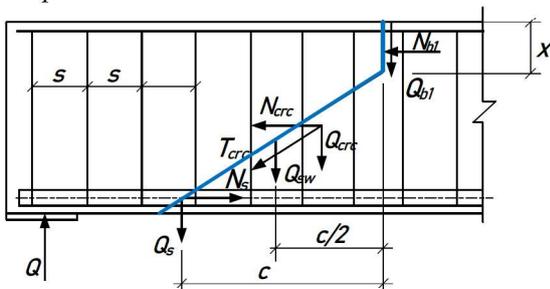
1. Метод расчета

Метод определения сдвигающей способности на наклонных сечениях железобетонных балок основан на двухблочной модели, предложенной профессором А. А. Гвоздевым и др. [2].

По расчетной схеме железобетонный элемент разделен на два блока (верхний и нижний), границей между которыми являются наклонная трещина и нормальное сечение, проходящее через ее вершины (рис. 1).

Силы, рассматриваемые на наклонных сечениях: продольные силы N_{b1} , N_{b2} и поперечные силы Q_{b1} , Q_{b2} в бетоне сжатой зоны над и под вершиной наклонной трещины; осевая сила в хомуте, рассекающем наклонную трещину Q_{sw} ; продольные силы N_s , N_{s1} и поперечная сила Q_s в продольной арматуре, пересекающей наклонную трещину; сила сцепления в наклонной трещине T_{crc} (может быть разделена на две составляющие: N_{crc} с направлением вдоль оси балки и Q_{crc} с направлением к стволу оси балки); x и x_0 — высота сжатой зоны бетона над вершиной наклонной трещины

Верхний блок



Нижний блок

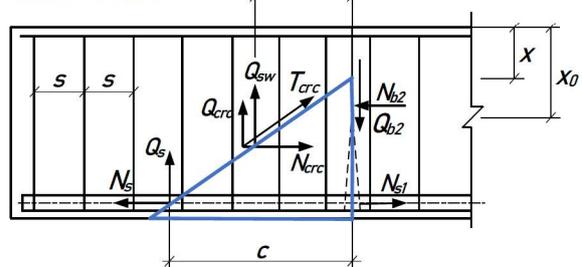


Рис. 1. Расчетная схема усилий в верхнем и нижнем блоках [1]

и высота сжатой зоны бетона на нормальном сечении.

Опыты А. А. Гвоздева, А. С. Залесова, И. А. Титова [10] показали, что равнодействующая сил зацепления проходит вблизи точки пересечения продольной арматурой наклонной трещины. Таким образом, продольное и поперечное усилия в продольной арматуре, пересекающей наклонную трещину, и продольная и поперечная составляющие усилия зацепления, действующие в наклонной трещине, рассматриваются совместно как усилия

$$N_{s,crc} = N_s + N_{crc}; \quad (3)$$

$$Q_{s,crc} = Q_s + Q_{crc}; \quad (4)$$

приложенные в месте пересечения продольной арматуры с наклонной трещиной.

Продольные и поперечные усилия в бетоне для верхнего и нижнего блоков в элементах прямоугольного сечения определяются по формулам:

Для верхнего блока	
$M = N_{b1}(h_0 - 0,5x) + Q_{sw} \frac{c}{2} + Q_{s,crc}c;$	(5)
$N_{b1} - N_{s,crc} = 0;$	(6)
$Q = Q_{b1} + Q_{sw} + Q_{s,crc}.$	(7)
Для нижнего блока	
$Q_{sw} \frac{c}{2} + Q_{s,crc}c - N_{b2} \left[h_0 - x - \frac{1}{3}(x_0 - x) \right] = 0;$	(8)
$N_{s1} - N_{s,crc} - N_{b2} = 0;$	(9)
$Q_{sw} + Q_{s,crc} - Q_{b2} = 0.$	(10)

Согласно [2, 11], на основании результатов экспериментов И. А. Титова и О. Ф. Ильина показано, что сумма поперечной силы, воспринимаемой сжатым бетоном над наклонной трещиной (Q_{b1}), нагельного действия продольной арматуры (Q_s) и силы зацепления (Q_{crc}) близка для обоих типов балок. Равенство суммарного поперечного усилия $Q_{b1} + Q_s + Q_{crc}$ в балках с хомутами и без хомутов указывает на примерное равенство усилия $Q_s + Q_{crc}$ в этих балках, так как поперечное усилие в бетоне над наклонной трещиной мало по сравнению с поперечными усилиями

$Q_s + Q_{crc}$ и примерно одинаково для балок с хомутами и без хомутов. Это указывает на то, что при развитии наклонной трещины весь прирост поперечной силы воспринимается в основном хомутами. Другими словами, сталь хомута воспринимает усилие только после появления наклонной трещины, поэтому условие (10) теперь будет выражено аналогично случаю балки без хомутов:

$$Q_{s,crc} - Q_{b2} = 0. \quad (11)$$

На основании распределения напряжений по высоте сечения, представленного на рис. 2, продольные и поперечные усилия в бетоне для верхнего и нижнего блоков в элементах прямоугольного сечения определяются по формулам:

$$N_{b1} = R_b bx; \quad (12)$$

$$Q_{b1} = \frac{2}{3} \tau_{\max}^{xy} bx = \frac{2}{3} R_{sh} bx \approx 1,5 R_{bt} bx; \quad (13)$$

$$N_{b2} = 0,5 R_b b(x_0 - x); \quad (14)$$

$$Q_{b2} = \frac{2}{3} R_{sh} b(x_0 - x) \approx 1,5 R_{bt} b(x_0 - x). \quad (15)$$

Из существующих условий равновесия можно определить несущую способность железобетонных балок на наклонных сечениях по формуле

$$Q \leq Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{sw} = Q_b + Q_{sw} = 1,5 R_{bt} bx_0 + \frac{R_{sw} A_{sw}}{s} c. \quad (16)$$

Величину x_0 приближенно можно определить по формуле

$$x_0 = \alpha_s \mu_s h_0 \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right), \quad (17)$$

где $\alpha_s = E_s / E_b$ — отношение модулей упругости арматуры и бетона; $\mu_s = A_s / (bh_0)$.

Согласно СП 63.13330.2018 длина проекции наклонной трещины при учете поперечной арматуры принимается $h_0 \leq c \leq 2h_0$. Если принять в целях безопасности $c = h_0$, то

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = 1,5 R_{bt} bh_0 \alpha_s \mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s \mu_s}} - 1 \right) + q_{sw} h_0, \quad (18)$$

где Q_b — поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки,

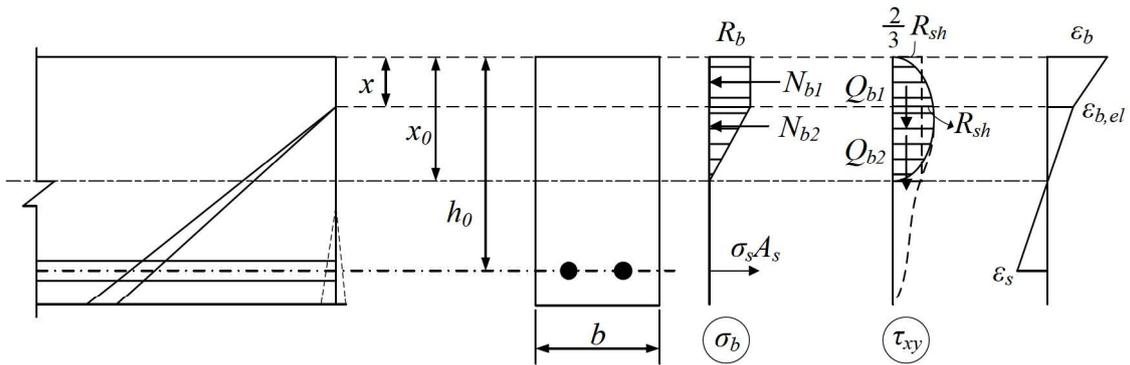


Рис. 2. Расчетные эпюры напряжений в бетоне и расчетная схема деформирования в нормальном сечении [11]

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right). \quad (19)$$

Фактически в строительных проектах часто используется бетон класса от В15 ($\alpha_s = 8,3$) до В40 ($\alpha_s = 5,5$). Таким образом, при содержании арматуры примерно $\mu_s = 1,0$ % (бетон класса В40) и $\mu_s = 1,51$ % (бетон класса В15) результаты расчета по предложенной формуле и по стандарту дают схожие результаты. Когда μ_s больше, Q_b , рассчитанная по предложенной формуле, будет больше, чем по формуле в условии (2), и наоборот (рис. 3).

Согласно рис. 3 при проценте армирования $\mu_s = 2,0$ % разница между расчетом по предлагаемой формуле и СП 63 составляет 11 % (для бетона В15) и 30 % (для бето-

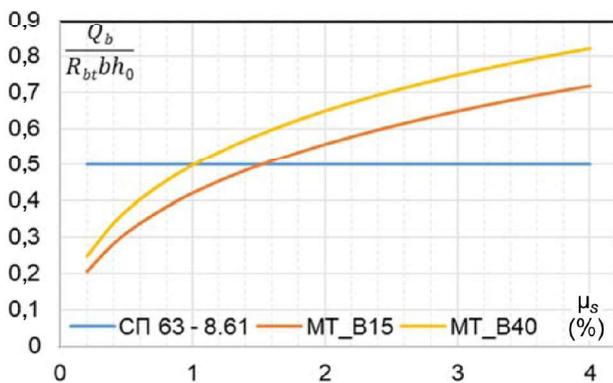


Рис. 3. График зависимости относительной несущей способности от процента армирования продольной арматурой

на В40). Эта разница будет увеличиваться по мере увеличения коэффициента армирования.

Предлагается использовать формулы (18) и (19) для замены выражений (1), (2) в стандарте СП 63.13330.2018 при расчете изгибаемых элементов по наклонному сечению.

Согласно стандарту СП 63.13330.2018 Q_b , определенная по формуле (19), будет ограничена следующим условием:

$$0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b \leq 2,5R_{bt}bh_0. \quad (20)$$

2. Примеры расчетов, результаты и обсуждение

2.1. Схема эксперимента и параметры материала

Эксперименты по определению несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям проводились с балками размерами 60×120×1000 мм с хомутами и без хомутов. Эксперимент состоял из трех серий, в каждой серии по шесть балок. Схема эксперимента и конструкция балки показаны на рис. 4 и 5.

Исследования проводились на испытательной машине УТ-05-1000 со сжимающей нагрузкой до 1000 кН, как показано на рис. 6.

Параметры материала и модели эксперимента показаны в табл. 1.

2.2. Результаты эксперимента

На рис. 7 показаны фотографии балок после испытания. На рис. 8 приведены за-

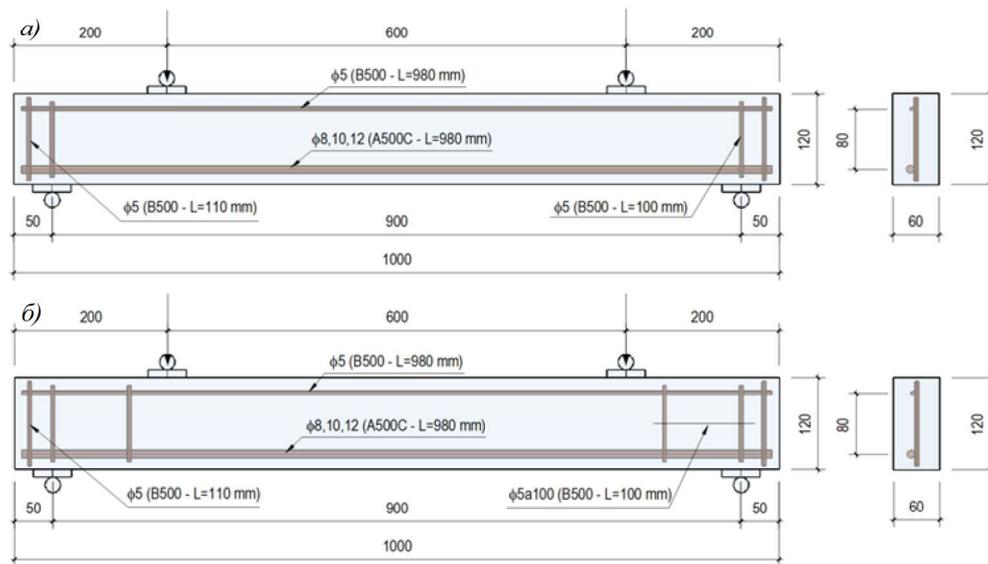


Рис. 4. Схема испытания железобетонных балок: а — серии 1; б — серии 2

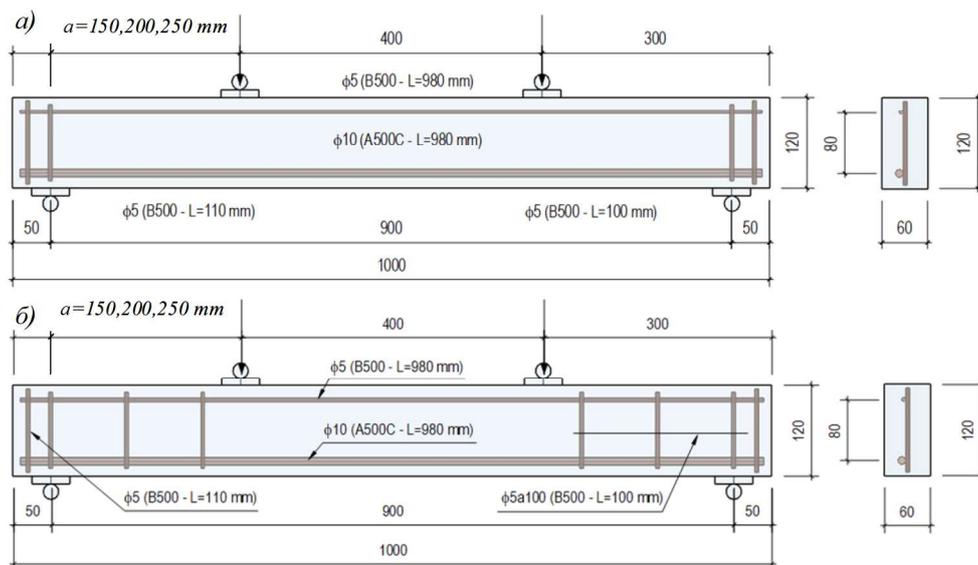


Рис. 5. Схема испытания железобетонных балок серии 3: а — без хомутов; б — с хомутами

зависимости перемещений балок от приложенной силы по показаниям испытательной машины.

Результаты расчета прочности на сдвиг железобетонных балок по экспериментам и вышеуказанным методам расчета приведены в табл. 2 и 3.

На графиках рис. 9 показаны зависимости относительной несущей способности по наклонному сечению от процента армиро-

вания продольной арматурой для балки без хомутов и с хомутами.

Влияние относительной длины пролета среза на несущую способность железобетонных элементов наглядно проявляется в теоретических расчетах и показано на графиках на рис. 10.

2.3. Обсуждение

Во 2-й серии экспериментов балки с содержанием продольной растянутой арматуры 0,84 % разрушились по нормальным

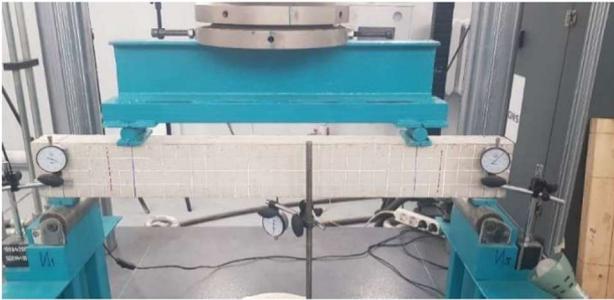


Рис. 6. Установка приборов и испытание изгибаемого элемента

сечениям. В остальных случаях балки разрушились по наклонным сечениям. При увеличении количества продольной арматуры несущая способность балок возрастала не только по нормальному, но и по наклонному сечению. В теоретических расчетах величина силы, вызывающей разрушение балок по нормальным и наклонным сечениям, мало отличается, поэтому величина разрушающей силы определяет несущую способность балки по наклонному сечению.

Среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации при использовании предложенной формулы (18) меньше, чем при расчете по СП 63.13330.2018. В частности, при расчете по предложенному условию (18) коэффициент вариации ($COV = 19,52\%$ для балок без хомутов и $COV = 16,93\%$ для балок с хомутами) меньше, чем вычисленный по условиям $Q \leq Q_b + Q_{sw}$ (23,04 и 20,34 %) и по (1) (23,04 и 20,91 %) (СП 63.13330.2018), что показывает лучшее приближение и меньшую дисперсию.

Объединение условий (18) и (20) позволило повысить точность результатов расчета при уменьшении среднего значения $Q_{exp}/Q_{расчет}$ с 2,46 до 2,37 в случае балок без хомутов и с 1,60 до 1,57 для балок с хомутами.

При наличии поперечной арматуры соотношение $Q_{exp}/Q_{расчет}$ уменьшается. Например, для условия (1) среднее значение этого коэффициента уменьшается с 2,48 для балок без хомутов до 1,61 для балок с хомутами

Таблица 1

Общие характеристики испытанных образцов
($b = 60$ мм, $h = 120$ мм, $h_0 = 100$)

Балки	a/h_0	Бетон			Арматура				
		R_{bp} , МПа	R_b , МПа	E_b , МПа	μ_s , %	R_s , МПа	μ_{sw} , %	Шаг s , мм	R_{sw} , МПа
ЖБ1-1-1	1,5	1,718	17,005	30 428	0,84	644,58	–	–	–
ЖБ1-1-2	1,5	1,718	17,005	30 428	0,84	644,58	–	–	–
ЖБ1-2-1	1,5	1,718	17,005	30 428	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ1-2-2	1,5	1,718	17,005	30 428	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ1-3-1	1,5	1,718	17,005	30 428	1,88	529,26	–	–	–
ЖБ1-3-2	1,5	1,718	17,005	30 428	1,88	529,26	–	–	–
ЖБ2-1-1	1,5	1,723	17,080	30 481	0,84	644,58	0,327	100	409,6
ЖБ2-1-2	1,5	1,723	17,080	30 481	0,84	644,58	0,327	100	409,6
ЖБ2-2-1	1,5	1,723	17,080	30 481	1,31	635,38	0,327	100	409,6
ЖБ2-2-2	1,5	1,723	17,080	30 481	1,31	635,38	0,327	100	409,6
ЖБ2-3-1	1,5	1,723	17,080	30 481	1,88	529,26	0,327	100	409,6
ЖБ2-3-2	1,5	1,723	17,080	30 481	1,88	529,26	0,327	100	409,6
ЖБ3-1-1	1,5	1,771	17,766	30 952	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ3-1-2	2,0	1,771	17,766	30 952	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ3-1-3	2,5	1,771	17,766	30 952	1,31	635,38	–	–	–
ЖБ3-2-1	1,5	1,771	17,766	30 952	1,31	635,38	0,327	100	409,6
ЖБ3-2-2	2,0	1,771	17,766	30 952	1,31	635,38	0,327	100	409,6
ЖБ3-2-3	2,5	1,771	17,766	30 952	1,31	635,38	0,327	100	409,6



Рис. 7. Серии 1–3 образцов после испытания

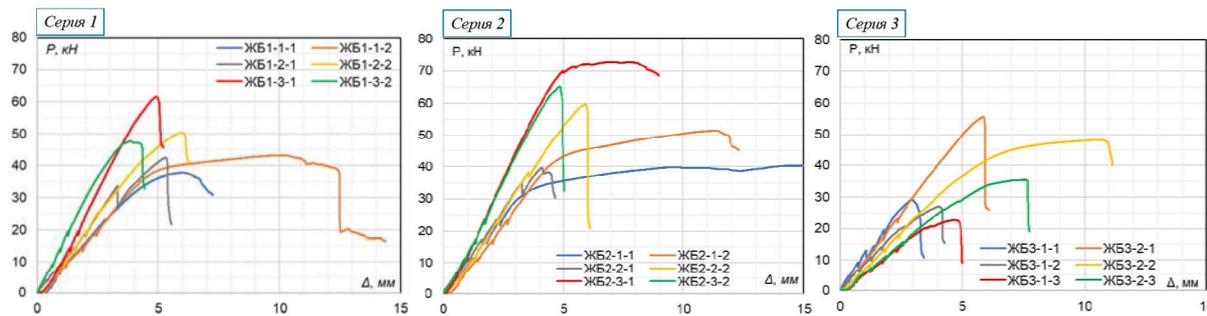


Рис. 8. График зависимости силы от перемещения испытательных балок

(также соответственно для других случаев). Другими словами, в случае балок с хомутами коэффициент запаса прочности при расчете будет ниже по сравнению со случаем балок без хомутов.

Отношение $Q_{exp}/Q_{расчет}$ превышает единицу (см. табл. 2 и 3). Это значит, что значение

прочности бетона при растяжении в теоретических расчетах меньше, чем в реальности.

Заключение

Научная гипотеза о влиянии продольного армирования на несущую способность по наклонному сечению получила экспериментальное подтверждение.

Таблица 2

Сопоставление результатов расчета по СП 63.13330.2018 и по предложенной формуле с экспериментальными данными для балок без хомутов (тип разрушения — срез)

Серия	Балки	Q_{exp} , кН	$Q_{СП1}$, кН	$Q_{СП2}$, кН	Q_{MT1} , кН	Q_{MT2} , кН	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$
1	ЖБ1-1-1	18,89	10,31	8,59	7,26	8,59	1,83	2,20	2,60	2,20
	ЖБ1-1-2	21,64	10,31	8,59	7,26	8,59	2,10	2,52	2,98	2,52
	ЖБ1-2-1	21,23	10,31	8,59	8,70	8,70	2,06	2,47	2,44	2,44
	ЖБ1-2-2	25,23	10,31	8,59	8,70	8,70	2,45	2,94	2,90	2,90
	ЖБ1-3-1	30,81	10,31	8,59	10,02	10,02	2,99	3,59	3,08	3,08
	ЖБ1-3-2	23,87	10,31	8,59	10,02	10,02	2,32	2,78	2,38	2,38
3	ЖБ3-1-1	14,60	10,63	8,86	8,91	8,91	1,37	1,65	1,64	1,64
	ЖБ3-1-2	13,52	7,97	6,64	6,68	6,68	1,70	2,04	2,02	2,02
	ЖБ3-1-3	11,35	6,38	5,31	5,35	5,35	1,78	2,14	2,12	2,12
Среднее значение							2,07	2,48	2,46	2,37
Стандартное отклонение							0,48	0,57	0,48	0,44
Коэффициент вариации (COV, %)							23,04	23,04	19,52	18,60

Сопоставление результатов расчета по СП 63.13330.2018 и по предложенной формуле с экспериментальными данными для балок с хомутами

Серия	Балки	Q_{exp} , кН	$Q_{СП1}$, кН	$Q_{СП2}$, кН	Q_{MT1} , кН	Q_{MT2} , кН	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{СП2}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT1}}$	$\frac{Q_{exp}}{Q_{MT2}}$	Тип разрушения
2	ЖБ2-1-1	20,17	16,37	16,66	15,32	16,66	1,23	1,21	1,32	1,21	Изгиб
	ЖБ2-1-2	25,74	16,37	16,66	15,32	16,66	1,57	1,55	1,68	1,55	Изгиб
	ЖБ2-2-1	19,82	16,37	16,66	16,76	16,76	1,21	1,19	1,18	1,18	Срез
	ЖБ2-2-2	29,86	16,37	16,66	16,76	16,76	1,82	1,79	1,78	1,78	Срез
	ЖБ2-3-1	36,42	16,37	16,66	18,08	18,08	2,22	2,19	2,01	2,01	Изгиб
	ЖБ2-3-2	32,58	16,37	16,66	18,08	18,08	1,99	1,96	1,80	1,80	Срез
3	ЖБ3-2-1	27,78	16,65	16,89	16,95	16,95	1,67	1,64	1,64	1,64	Срез
	ЖБ3-2-2	24,11	14,00	14,68	14,72	14,72	1,72	1,64	1,64	1,64	Срез
	ЖБ3-2-3	17,73	12,40	13,35	13,38	13,38	1,43	1,33	1,32	1,32	Срез
Среднее значение							1,65	1,61	1,60	1,57	
Стандартное отклонение							0,34	0,34	0,27	0,28	
Коэффициент вариации (COV, %)							20,34	20,91	16,93	18,08	

Примечание. Q_{exp} — реакция балки на опоре при ее разрушении ($Q_{exp} = P_{max}/2$); $Q_{СП1}$ — несущая способность изгибаемых железобетонных элементов по наклонному сечению под действием поперечной силы по СП 63.13330.2018, $Q \leq Q_b + Q_{sw}$; $Q_{СП2}$ — несущая способность по наклонному сечению изгибаемых железобетонных элементов под действием поперечной силы по условию (1) (СП 63.13330.2018); Q_{MT1} — несущая способность по наклонному сечению изгибаемых железобетонных элементов под действием поперечной силы по предложенному условию (18); Q_{MT2} — несущая способность по наклонному сечению изгибаемых железобетонных элементов под действием поперечной силы по предложенным условиям (18) и (20).

На основе теоретического и экспериментального анализа предложенные формулы показывают результаты, согласующиеся с результатами испытаний для балок с хомутами и без них.

Предлагается использовать формулу

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right) + q_{sw}h_0,$$

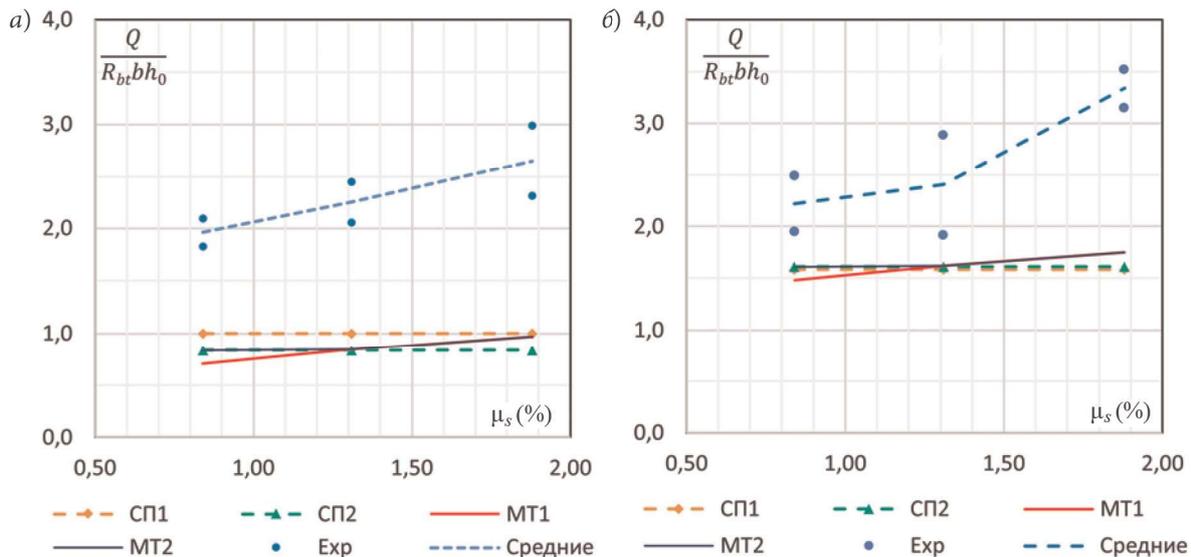


Рис. 9. График зависимости относительной несущей способности от процента армирования продольной арматурой для балки: а — без хомутов; б — с хомутами

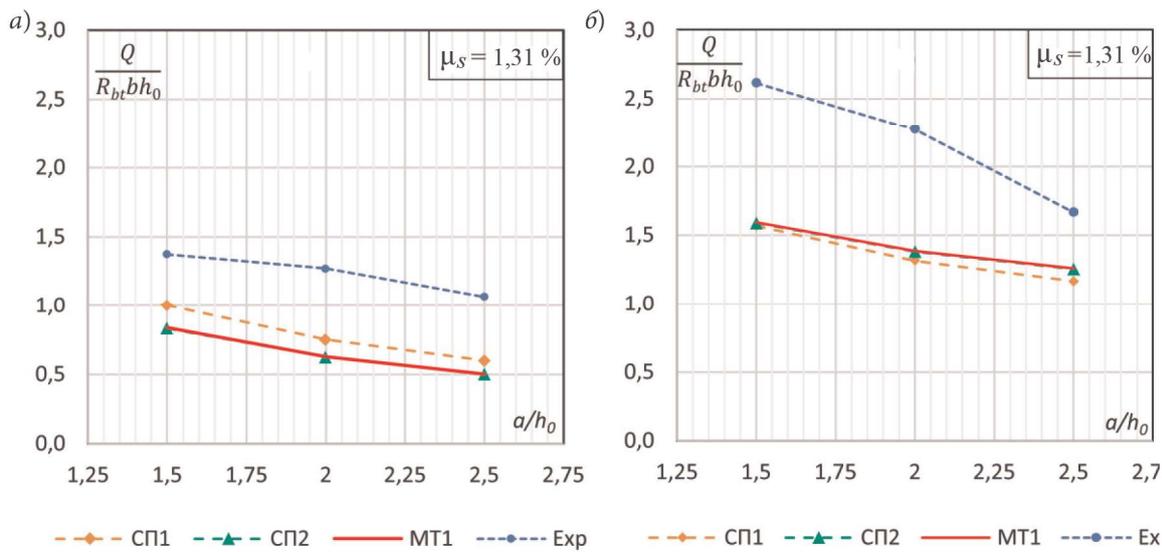


Рис. 10. График зависимости относительной несущей способности бетона от относительного пролета среза для балки: а — без хомутов; б — с хомутами

где Q_b — поперечная сила в нормальном сечении от внешней нагрузки:

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_0\alpha_s\mu_s \left(\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha_s\mu_s}} - 1 \right);$$

$$0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b \leq 2,5R_{bt}bh_0,$$

для замены условия $Q_1 \leq Q_{b1} + Q_{sw1}$ в стандарте СП 63.13330.2018 при расчете изгибаемых элементов по наклонному сечению.

Библиографический список

1. Залесов А. С., Климов Ю. А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. Киев: Будивэльнык, 1989. 104 с.
2. Гвоздев А. А., Дмитриев С. А., Крылов С. М и др. Новое о прочности железобетона / под ред. К. М. Михайлова. М.: Стройиздат, 1977. 272 с.
3. Залесов А. С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций на действие поперечных сил. М.: ОАО «ЦПП», 2008. 34 с.
4. Дау Тьеколо. Влияние продольного армирования на несущую способность наклонных сечений железобетонных балок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1998. 19 с.
5. Польской П. П. Прочность и трещиностойкость наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов при различных видах бетона и формах сечений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 1998. 25 с.
6. Силантьев А. С. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям

с учетом влияния продольного армирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 24 с.

7. Филатов В. Б., Блинкова Е. В. Расчетная модель наклонного сечения изгибаемого железобетонного элемента без поперечной арматуры // V Всерос. конф. «Современные наукоемкие инновационные технологии». 3–5 декабря 2013 г. Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 6 (2). С. 517–520.

8. Крылов С. Б., Травуш В. И., Крылов А. С. Модель прочности наклонных сечений балок произвольной формы // Вестник НИЦ «Строительство». 2020. № 4 (27). С. 46–64. URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-46-64](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-46-64).

9. Старишко И. Н. Новое направление по расчету прочности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям с примером расчета опытной балки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. № 17 (5). С. 479–499. URL: <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-5-479-499>.

10. Гвоздев А. А., Залесов А. С., Титов И. А. Силы зацепления в наклонных трещинах // Бетон и железобетон. 1975. № 7. С. 44–45.

11. Залесов А. С., Ильин О. Ф., Петросян А. В. Разработка и внедрение алгоритмов и программ для расчета на ЭВМ элементов железобетонных конструкций (раздел 7). М., 1989. 174 с.

References

1. Zalesov A. S., Klimov Yu. A. *Prochnost' zhelezobetonnykh konstruktsiy pri deystvii poperechnykh sil*

[Strength of reinforced concrete structures under the action of transverse forces]. Kiev, Budivěl'nyk Publ., 1989, 104 p.

2. Gvozdev A. A., Dmitriev S. A., Krylov S. M., et al. *Novoe o prochnosti zhelezobetona* [New data about the strength of reinforced concrete]. Ed. by Mikhaylov K. M. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977, 272 p.

3. Zalesov A. S. *Kratkie zametki o raschete zhelezobetonnykh konstruktsiy na deystvie poperechnykh sil* [Brief notes on the calculation of reinforced concrete structures for transverse forces]. Moscow, OAO TsPP Publ., 2008, 34 p.

4. Dau T'ekolo. *Vliyanie prodol'nogo armirovaniya na nesushchuyu sposobnost' naklonnykh secheniy zhelezobetonnykh balok*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Influence of longitudinal reinforcement on bearing capacity of inclined sections of reinforced concrete beams. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 1998, 19 p.

5. Pol'skoy P. P. *Prochnost' i treshchinostoykost' naklonnykh secheniy izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov pri razlichnykh vidakh betona i formakh secheniy*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Strength and fracture resistance of inclined sections of bending reinforced concrete elements at different types of concrete and section shapes. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Rostov-on-Don, 1998, 25 p.

6. Silant'ev A. S. *Soprotivlenie izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov po naklonnym secheniyam s uchetom vliyaniya prodol'nogo armirovaniya*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Resistance of bending reinforced concrete elements in inclined sections taking into account the influence of longitudinal reinforcement. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2012, 24 p.

7. Filatov V. B., Blinkova E. V. *Raschetnaya model' naklonnogo secheniya izgibamogo zhelezobetonnogo elementa bez poperechnoy armatury* [Calculation model

of an inclined section of a bending reinforced concrete element without transverse armature]. *Trudy V Vseros. konf. «Sovremennye naukoemkie innovatsionnye tekhnologii», 3–5 dekabrya 2013 g.* [Proceedings of the V All-Russian Conf. "Modern science-intensive innovative technologies", December 3–5, 2013]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2013, vol. 15, no. 6 (2), pp. 517–520.

8. Krylov S. B., Travush V. I., Krylov A. S. *Model' prochnosti naklonnykh secheniy balok proizvol'noy formy* [Model of strength of inclined sections of arbitrarily shaped beams]. *Vestnik NITs «Stroitel'stvo» – Bulletin of SIC «Stroitel'stvo»*, 2020, no. 4 (27), pp. 46–64. Available at: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-46-64](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-46-64).

9. Starishko I. N. *Novoe napravlenie po raschetu prochnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov po naklonnym secheniyam s primerom rascheta opytnoy balki* [New trend in calculation of strength of bending reinforced concrete elements on inclined sections with an example of calculation of experimental beam]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy – Construction mechanics of engineering facilities and structures*, 2021, no. 17 (5), pp. 479–499. Available at: <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-5-479-499>.

10. Gvozdev A. A., Zalesov A. S., Titov I. A. *Sily zatsepleniya v naklonnykh treshchinakh* [Forces of meshing in inclined cracks]. *Beton i zhelezobeton – Concrete and Reinforced Concrete*, 1975, no. 7, pp. 44–45.

11. Zalesov A. S., Il'in O. F., Petrosyan A. V. *Razrabotka i vnedrenie algoritmov i programm dlya rascheta na EVM elementov zhelezobetonnykh konstruktsiy (razdel 7). (Otchet)* [Development and implementation of algorithms and programs for computer calculation of elements of reinforced concrete structures (section 7). (Report)]. Moscow, 1989, 174 p.