

УДК 666.972:691.620.192

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149)

EDN: HLLSTI

# ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕТОДА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, д-р техн. наук

С.А. ЗЕНИН<sup>✉</sup>, канд. техн. наук

А.С. ЖАРКИХ

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

## Аннотация

*Введение.* В действующих нормах по проектированию бетонных и железобетонных конструкций отсутствуют методы расчета прочности наклонных сечений изгибаемых элементов на действие поперечных сил при различной форме поперечного сечения. Это вынуждает проектировщиков при выполнении расчетов таких элементов прибегать к упрощениям, что в ряде случаев может привести к перерасходу поперечной арматуры или недооценке прочности.

*Целью* исследования, результаты которого приведены в статье, является проверка надежности новой методики расчета прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных конструкций с формой поперечного сечения, отличной от прямоугольной.

*Материалы и методы.* Оценка надежности новой методики расчета наклонных сечений с различной формой поперечного сечения выполнена путем сравнения расчетных и опытных значений поперечной силы, воспринимаемой наклонным сечением железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения. Были рассмотрены опытные образцы с кольцевой, круглой, тавровой с полкой в растянутой или в сжатой зоне формой поперечного сечения, а также опытные образцы с квадратной формой поперечного сечения, испытанные на косоугольный изгиб. Оценка надежности выполнена общепринятыми методами статистического анализа.

*Результаты.* Получены распределения отношения опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, которые близки к нормальным. По результатам оценки надежности установлено, что предложенная методика расчета по прочности наклонных сечений элементов с различными формами поперечного сечения по показателям точности и надежности сопоставима с принятой в СП 63.13330.2018 методикой расчета элементов прямоугольного сечения.

*Выводы.* Предложенная методика расчета по прочности наклонных сечений элементов с различными формами поперечного сечения по показателям точности и надежности сопоставима с принятой в СП 63.13330.2018 методикой расчета элементов прямоугольного сечения.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, прочность, наклонное сечение, форма поперечного сечения, методы расчета

**Для цитирования:** Мухамедиев Т.А., Зенин С.А., Жарких А.С. Оценка надежности метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):139–149. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149)

### **Вклад авторов**

Мухамедиев Т.А. – разработка метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения.

Зенин С.А. – участие в разработке метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения и оценка его надежности.

Жарких А.С. – участие в разработке метода расчета прочности наклонных сечений железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения и выполнение расчетов.

### **Финансирование**

Финансирование осуществлялось за счет средств государственного бюджета.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 23.04.2022*

*Поступила после рецензирования 24.05.2022*

*Принята к публикации 31.05.2022*

## **THE RELIABILITY ASSESSMENT OF THE METHOD FOR CALCULATING THE STRENGTH OF OBLIQUE SECTIONS IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH VARIOUS CROSS-SECTIONAL SHAPE**

T.A. MUKHAMEDIEV, Dr. Sci. (Engineering)

S.A. ZENIN<sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

A.S. ZHARKIKH

*Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZNB) named after A.A. Gvozdev,  
JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation*

### **Abstract**

*Introduction.* The current standards for the design of concrete and reinforced concrete structures provide no methods for calculating the strength of the oblique sections in bending elements of various cross-sectional shape under the action of transverse forces. This prompts the designers to use simplifications in calculation of such elements, which, in some cases, may lead to excessive consumption of transverse reinforcement or the strength underestimation.

*Aim.* The performed study was aimed at assessing the reliability of a new method for calculating the strength of oblique sections in bending reinforced concrete structures with a non-rectangular cross-sectional shape.

*Materials and methods.* The reliability assessment of a new procedure for calculating oblique sections of a various cross-sectional shape was performed by the comparison between the calculated and experimental values of the transverse force received by the oblique section of reinforced concrete elements with various cross-sectional shape. The study considers the oblique bending tests of the samples with an annular, circular, and square cross-sectional shape, as well as T-shaped samples with a crossbar both in a stretched and compressed zone. The reliability assessment was performed using generally accepted methods of statistical analysis.

*Results.* The distributions of ratios of the experimental and calculated values of the destructive transverse force for various-section test samples were obtained to be close to normal ones. According to the results of the reliability assessment, the proposed procedure of calculating the strength of oblique sections in elements with various cross-sectional shape was established to be comparable with the procedure accepted

in the SP 63.13330.2018 Rules and Regulations for calculating rectangular cross-section elements in terms of the accuracy and reliability indices.

*Conclusions.* The proposed procedure of calculating the strength of oblique sections in elements with various cross-sectional shape was determined to be comparable with the procedure accepted in the SP 63.13330.2018 Rules and Regulations for calculating rectangular cross-section elements in terms of the accuracy and reliability indices.

**Keywords:** reinforced concrete structures, strength, oblique section, cross-sectional shape, calculation methods

**For citation:** Mukhamediev T.A., Zenin S.A., Zharkikh A.S. The reliability assessment of the method for calculating the strength of oblique sections in reinforced concrete elements with various cross-sectional shape. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):139–149. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-139-149](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-139-149)

#### **Author contribution statements**

Mukhamediev T. A. – development of a method for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-sectional shapes.

Zenin S.A. – participation in the development of a method for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-section shapes and assessing its reliability.

Zharkikh A.S. – participation in the development of a method for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete elements with different cross-sectional shapes and performing calculations.

#### **Funding**

The research was funded by the state budget.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 23.04.2022*

*Revised 24.05.2022*

*Accepted 31.05.2022*

## **Введение**

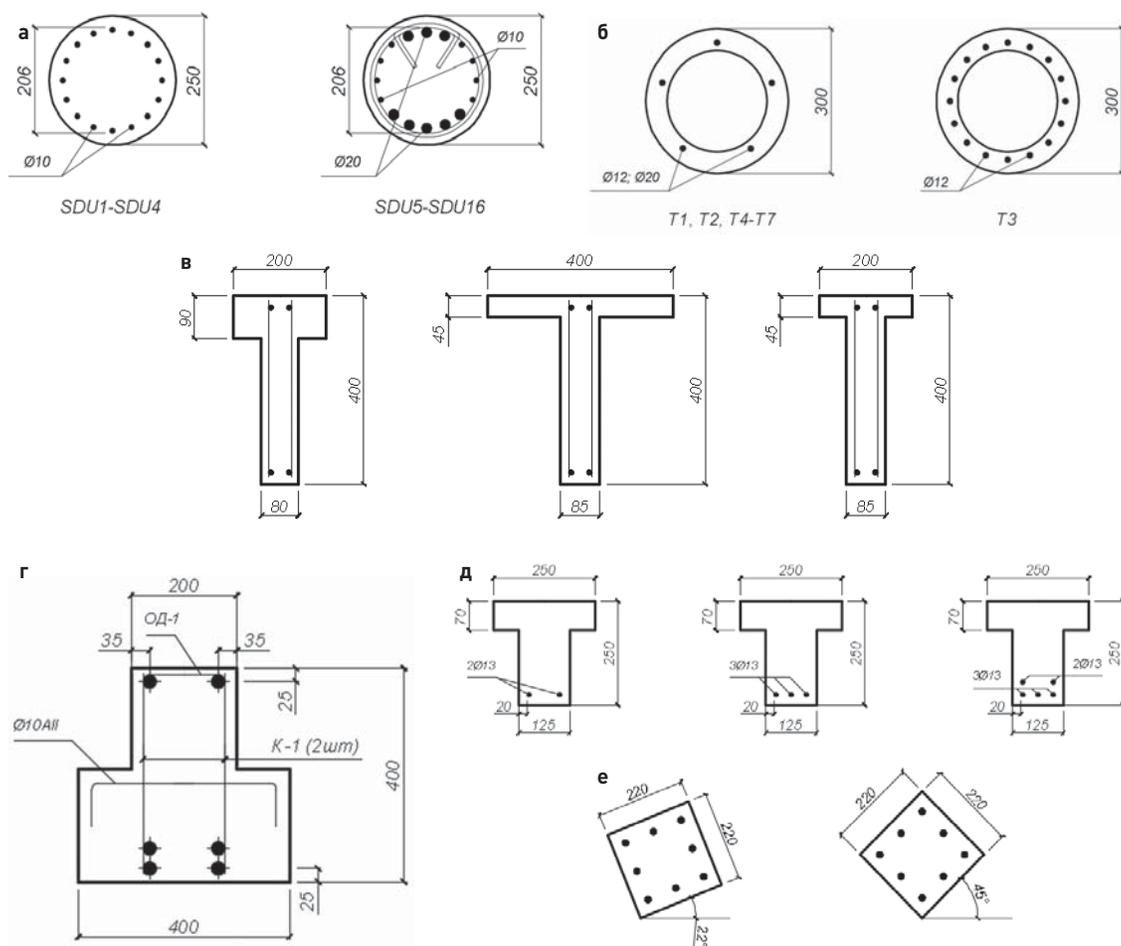
В СП 63.13330.2018 [7] представлены указания по расчету изгибаемых элементов по прочности, при этом методика расчета на действие изгибающих моментов охватывает элементы с произвольной формой сечения, а методика расчета на действие поперечных сил ограничена элементами только прямоугольной формы сечения. В связи с этим при проектировании конструкций с формой поперечного сечения, отличной от прямоугольной, пользователи свода правил при расчете прочности их наклонных сечений вынуждены прибегать к определенным упрощениям и условностям. Это приводит к перерасходу поперечной арматуры или ошибочной оценке прочности наклонного сечения в целом, что влияет на общую надежность принимаемых конструктивных решений.

## **Цель**

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, является проверка надежности ранее разработанной методики расчета прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных конструкций с учетом формы поперечного сечения.

## Материалы и методы

Оценку надежности методики расчета выполняли по результатам сравнения расчетных и опытных значений поперечной силы, воспринимаемой наклонным сечением железобетонных элементов с различной формой поперечного сечения. Были рассмотрены результаты испытаний опытных образцов с круглой формой сечения (опыты Uffe G. Jensen [1]), кольцевой формой сечения (опыты В. Н. Шиванова, В. К. Ягодина [2]), таврового сечения с полкой в растянутой и сжатой зоне (опыты Ю. Л. Изотова [3], Б. М. Свердлова [4] и R. Thamrin [5]), а также опытных образцов с квадратной формой поперечного сечения, испытанных на косой изгиб под углом  $45^\circ$  и  $22,5^\circ$  (опыты R Thamrin [6]). Схемы армирования опытных образцов приведены на рис. 1.



\*все размеры указаны в мм

**Рис. 1.** Схемы армирования опытных образцов с различной формой поперечного сечения: а – опыты Uffe G. Jensen [1]; б – опыты В. Н. Шиванова, В. К. Ягодина [2]; в – опыты Ю. Л. Изотова [3]; г – опыты Б. М. Свердлова [4]; д – опыты R. Thamrin [5]; е – опыты R. Thamrin [6]

\*all dimensions are in mm

**Fig. 1.** Reinforcement schemes for test samples with various cross-sectional shape:

а – Uffe G. Jensen experiments [1]; б – V. N. Shivanov and V. K. Yagodin experiments [2]; в – Yu. L. Izotov experiments [3]; г – B. M. Sverdlov experiments [4]; д – R. Thamrin experiments [5]; е – R. Thamrin experiments [6]

Согласно СП 63.13330.2018 [7] поперечную силу, воспринимаемую наклонным сечением элемента, вычисляли по формуле

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (1)$$

в которой усилие  $Q_{sw}$ , воспринимаемое поперечной арматурой по длине наклонной трещины, определяли по указаниям [7], а усилие  $Q_b$ , воспринимаемое бетоном, вычисляли по формуле, учитывающей форму поперечного сечения элемента

$$Q_b = \frac{1,5 \times R_{bt} \times (A_0 + A_{s,red}) \times h_0}{C}, \quad (2)$$

принимая при этом

$$0,5R_{bt} \times (A_0 + A_{s,red}) \leq Q_b \leq 2,5R_{bt} \times (A_0 + A_{s,red}), \quad (3)$$

где

$$h_0 = h - a; \quad (4)$$

$R_{bt}$  – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению;

$A_0$  – площадь поперечного сечения элемента, вычисляемая без учета площади сечения защитного слоя бетона, а для элементов таврового и двутаврового сечения – и с ограничениями расчетной ширины полок;

$A_{s,red}$  – приведенная площадь сечения продольной арматуры в растянутой зоне сечения элемента, которую в расчетах принимают не более  $0,5A_0$ ;

$C$  – наиболее опасная длина проекции наклонного сечения на продольную ось элемента, определяемая по указаниям СП 63.13330.2018 [7].

Для круглых и кольцевых сечений в формулу (2) вместо  $h_0$  подставляют  $d_0 = 2 \times r_0$ .

Приведенную площадь сечения продольной арматуры в растянутой зоне сечения элемента определяли по формуле

$$A_{s,red} = A_s \times \frac{E_s}{R_{bt} / \varepsilon_{bt2}} \leq 0,5A_0, \quad (5)$$

в которой  $\varepsilon_{bt2} = 0,00015$ .

При расположении стержней продольной арматуры в растянутой зоне равномерно по высоте сечения элемента в расчете учитывают только стержни арматуры, расположенные у растянутой грани сечения.

Для опытных образцов [1] круглого сечения радиусом  $r$  (рис. 2, а) значение  $A_0$  принимали равным

$$A_0 = \pi \times r_0^2; \quad r_0 = r - a. \quad (6)$$

Для опытных образцов [2] кольцевого сечения радиусом  $R$  и внутренним радиусом  $r$  (рис. 2, б) значение  $A_0$  принимали равным

$$A_0 = \pi \times (R_0^2 - r^2); R_0 = R - a. \tag{7}$$

Для опытных образцов [3] таврового сечения с полкой в сжатой зоне (рис. 2, в, д) значение  $A_0$  принимали равным

$$A_0 = b \times h_0 + (b'_f - b) \times h'_f; (b'_f - b) \leq 3 \times h'_f. \tag{8}$$

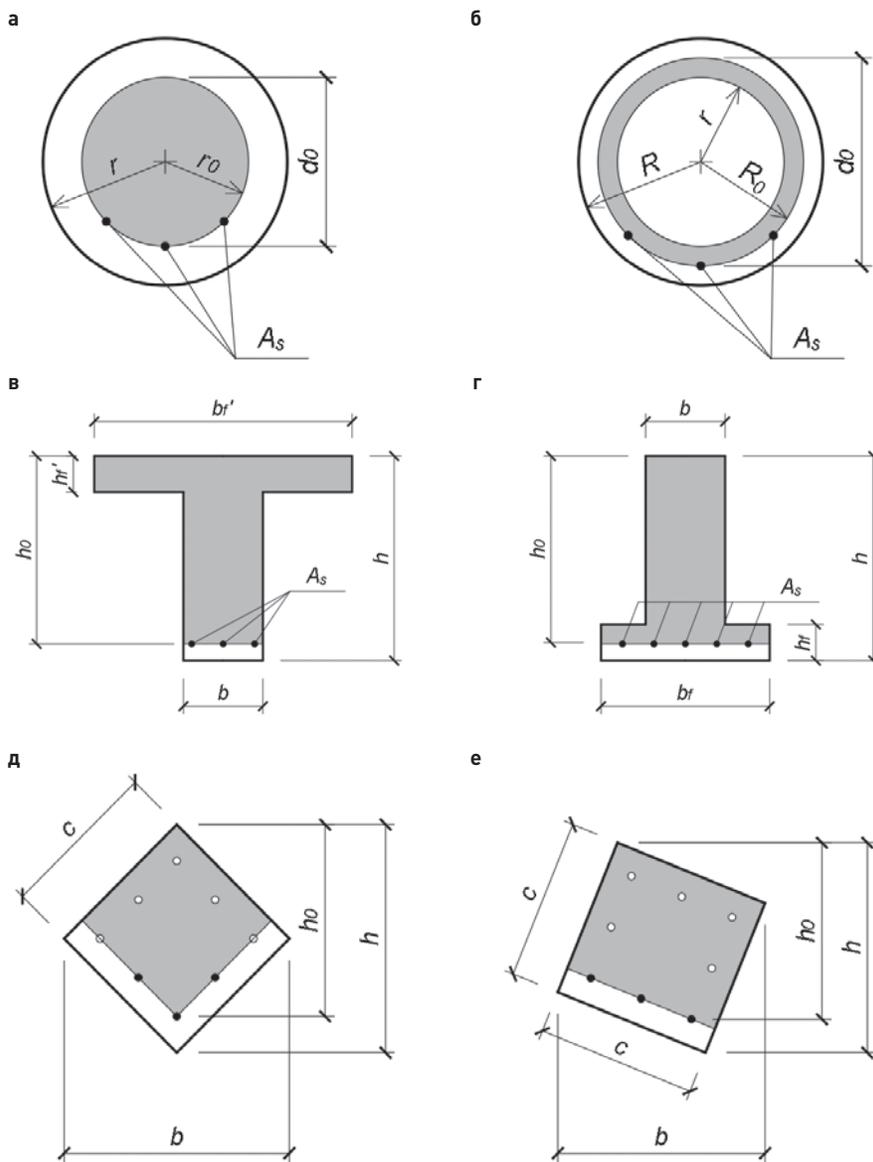


Рис. 2. Расчетная площадь поперечного сечения  $A_0$  опытных образцов с различной формой поперечного сечения  
 Fig. 2. Calculated cross-sectional area of test samples with various cross-sectional shape

Для опытных образцов [4] таврового сечения с полкой в растянутой зоне (рис. 2, з) значение  $A_0$  принимали равным

$$A_0 = b \times h_0 + (b_f - b) \times (h_f - a). \quad (9)$$

Для косо изгибаемых под углом  $45^\circ$  опытных образцов [6] квадратного сечения (рис. 2, д)

$$A_0 = c^2 - 2 \times c \times a. \quad (10)$$

Для косо изгибаемых под углом  $22,5^\circ$  опытных образцов [6] квадратного сечения (рис. 2, е)

$$A_0 = c^2 - c \times a. \quad (11)$$

## Результаты

Оценку надежности производили общепринятыми методами статистического анализа. Оценки выполняли по соотношениям опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных по новой методике с учетом и без учета продольной арматуры.

При расчете прочности наклонных сечений число учитываемых в расчетах стержней продольной арматуры в растянутой зоне сечения принимали равным для опытных образцов с поперечным сечением: круглой формы по опытам G. Jensen [1] – 6–9 стержней; кольцевой по опытам В. Н. Шиванова, В. К. Ягодина [2] – 2 стержня при общем их числе 5, и 5 стержней при общем их числе 17; тавровой по опытам Б. М. Свердлова, Ю. Л. Изотова, R. Thamrin [3, 4, 5] – все расположенные у растянутой грани стержни. Для косо изгибаемых опытных образцов квадратного сечения по опытам R. Thamrin [6] число учитываемых стержней продольной арматуры в растянутой зоне сечения принимали равным трем.

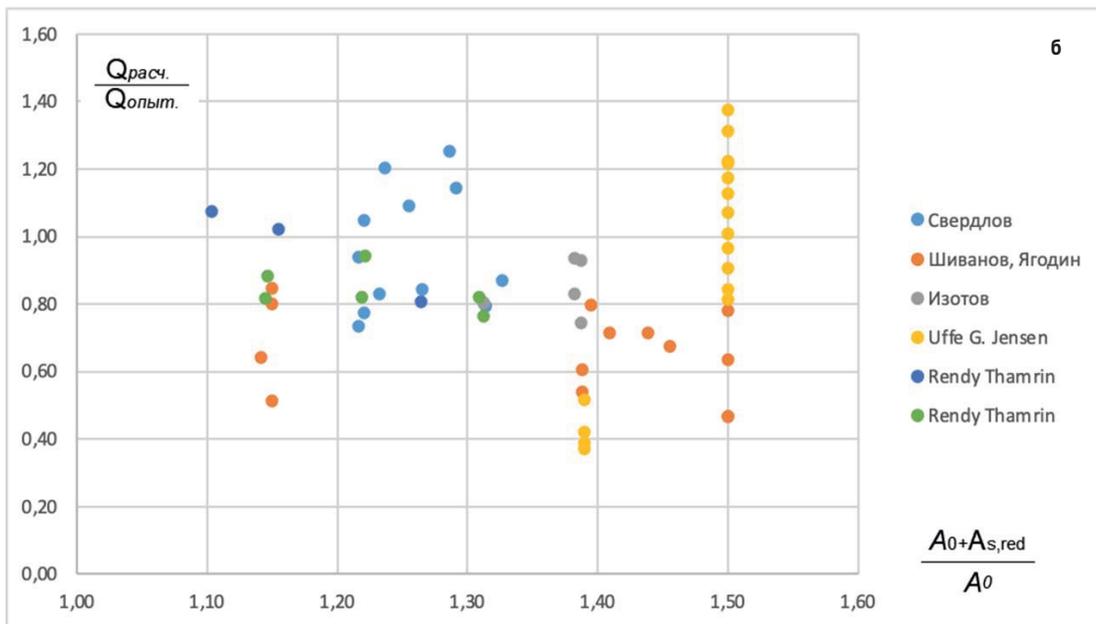
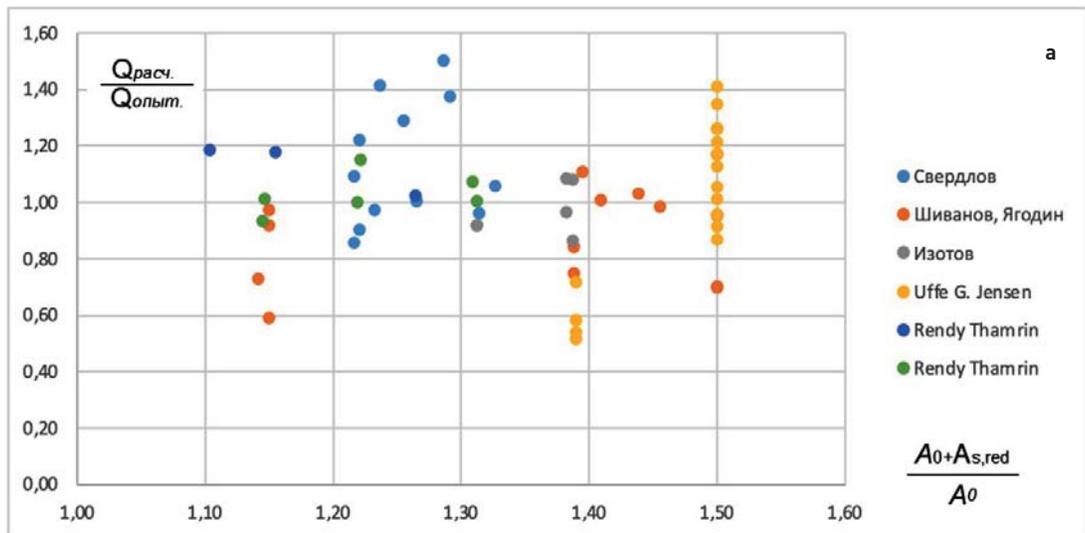
Расчет опытных образцов выполняли по двум вариантам: без учета работы продольной арматуры в растянутой зоне сечения и с учетом ее работы.

Сопоставление опытных значений разрушающей поперечной силы с расчетными, вычисленными без учета и с учетом продольной арматуры в растянутой зоне сечения опытных образцов, показаны на рис. 3.

По результатам расчетов без учета продольной арматуры в растянутой зоне сечения среднее значение  $Q_{расч} / Q_{опыт}$  составило 0,85 при стандартном отклонении 0,237, а по результатам расчетов с учетом продольной арматуры – 1,01 при стандартном отклонении 0,219 (см. рис. 4, 5).

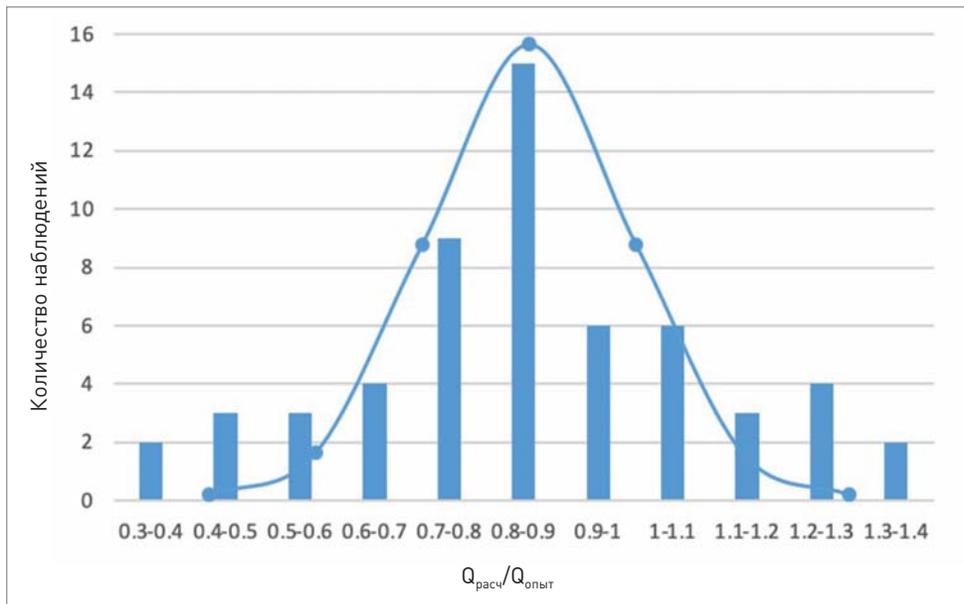
## Вывод

Предложенная методика расчета по прочности наклонных сечений элементов с различными формами поперечного сечения как с учетом, так и без учета продольной арматуры в растянутой зоне сечения по показателям точности и надежности сопоставима с принятой в СП 63.13330.2018 [7] методикой расчета элементов прямоугольного сечения и может быть использована для практических расчетов.

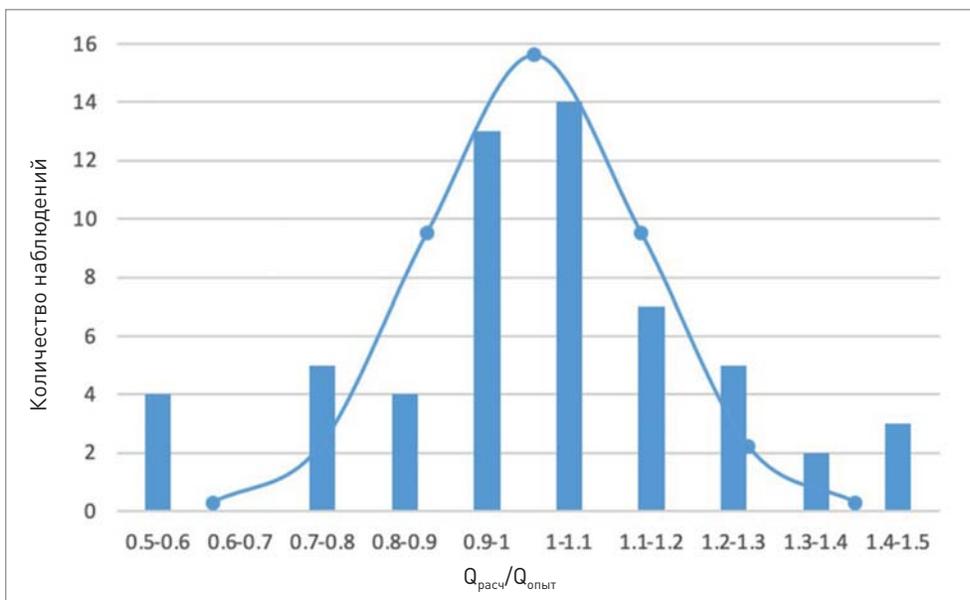


**Рис. 3.** Отношение опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных с учетом (а) и без учета (б) продольной арматуры в растянутой зоне сечения

**Fig. 3.** Ratio of the experimental destructive shear force for test samples of various cross-section and its values calculated taking into account (a) and without taking into account (b) the longitudinal reinforcement in the stretched zone of the cross-section



**Рис. 4.** Распределение отношения опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных без учета продольной арматуры в растянутой зоне сечения  
**Fig. 4.** Distribution of the ratio of the experimental destructive shear force for test samples of various cross-section and its values calculated without accounting the longitudinal reinforcement in the stretched zone of the cross-section



**Рис. 5.** Распределение отношения опытной разрушающей поперечной силы опытных образцов различного сечения и ее расчетных значений, вычисленных с учетом продольной арматуры в растянутой зоне сечения  
**Fig. 5.** Distribution of the ratio of the experimental destructive shear force for test samples of various cross-section and its values calculated taking into account the longitudinal reinforcement in the stretched zone of the cross-section

## Список литературы

1. Uffe G. Jensen, Linh C. Hoang, Henrik B. Joergensen, Lars S. Fabrin. Shear strength of heavily reinforced concrete members with circular cross section. *Engineering Structures*. 2010;32(3):617–626. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.11.008>
2. Шиванов В.Н., Ягодин В.К. Определение поперечной силы  $Q_b$  в изгибаемых железобетонных элементах кольцевого сечения. *Бетон и железобетон*. 1968(1):37–38.
3. Изотов Ю.Л. Прочность железобетонных балок. Киев: Будівельник; 1978.
4. Сverdlov B.M. Совершенствование методов расчета прочности ригелей каркасных зданий [диссертация]. Москва; 1989.
5. Thamrin R., Tanjung J., Aryanti R., Nur O.F., Devinus A. Shear strength of reinforced concrete T-beams without stirrups. *Journal of Engineering Science and technology*. 2016;11(4):548–562.
6. Thamrin R., Haris S., Dedi E., Dalmantias E. (2020). Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Square Cross Section Subjected to Biaxial Bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;713(1):012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012029>
7. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ; 2019.

## References

1. Uffe G. Jensen, Linh C. Hoang, Henrik B. Joergensen, Lars S. Fabrin. Shear strength of heavily reinforced concrete members with circular cross section. *Engineering Structures*. 2010;32(3):617–626. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.11.008>
2. Shivanov V.N., Yagodin V.K. Determination of the transverse force  $Q_b$  in bending reinforced concrete elements of annular cross-section. *Beton i Zhelezobeton*. 1968;(1):37–43 (in Russian).
3. Izotov Yu.L. Strength of reinforced concrete beams. Kiev: Budivel'nik Publ.; 1978 (in Russian).
4. Sverdlov B.M. Improvement of methods for calculating the strength of girders of frame buildings [dissertation]. Moscow; 1989 (in Russian).
5. Thamrin R., Tanjung J., Aryanti R., Nur O.F., Devinus A. Shear strength of reinforced concrete T-beams without stirrups. *Journal of Engineering Science and technology*. 2016;11(4):548–562.
6. Thamrin R., Haris S., Dedi E., Dalmantias E. (2020). Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Square Cross Section Subjected to Biaxial Bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;713(1):012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012029>
7. Rules and Regulations SP 63.13330.2018 Concrete and Reinforced Concrete Structures. General. Updated Edition of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ.; 2019 (in Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Тахир Абдурахманович Мухамедиев**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: takhir50@rambler.ru

тел.: +7 (499) 171-75-77

**Takhir A. Mukhamediev**, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher, Laboratory of Theory of Reinforced Concrete and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: takhir50@rambler.ru

tel.: +7 (499) 171-75-77

**Сергей Алексеевич Зенин** <sup>✉</sup>, канд. техн. наук, заведующий лабораторией железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: lab01@mail.ru  
тел.: +7 (499) 174-75-17

**Sergei A. Zenin** <sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: lab01@mail.ru  
tel.: +7 (499) 174-75-17

**Анастасия Сергеевна Жарких**, инженер лаборатории железобетонных конструкций и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: lab01@mail.ru  
тел.: +7 (499) 174-75-17

**Anastasiya S. Zharkikh**, Engineer of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: lab01@mail.ru  
tel.: +7 (499) 174-75-17

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author