

Ю.А. ШАПОШНИКОВА¹, В.С. КУЗНЕЦОВ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Аннотация. В работе рассматривается влияние различных факторов на реальную длину хомутов при конструировании сечений линейных изгибаемых железобетонных элементов. Целью работы является определение степени влияния хомутов различной конфигурации, а также иных факторов, на длину хомута при различных размерах сечения линейного изгибаемого элемента. Полученные данные и зависимости позволяют получать наиболее эффективные решения армирования наклонных сечений минимальной стоимости. Расчетно-аналитический, основанный на анализе результатов расчетов при различных видах поперечного армирования, соотношения диаметров продольной и поперечной арматуры, величин защитного слоя, радиуса загиба хомута и размеров сечения. Предложено выражение для расчета действительной длины хомута в зависимости от размеров сечения, коэффициента армирования и толщины защитного слоя с учетом применяемых оправок. Получены графики, которые говорят об экономии длины хомута от 6,7-7,4%, при использовании рабочей арматуры Ø6, до 12,2-37,9%, при использовании рабочей арматуры Ø40, в диапазоне размеров сечения от 20×40 см до 55×80 см и при коэффициенте армирования $0,1\% \leq \mu \leq 3\%$. Проанализированы зависимости уменьшения прочности в условиях неточной привязки рабочей продольной арматуры к хомутам. Полученные данные говорят об уменьшении прочности нормальных сечений балок от 0,33% до 10,78%. В работе рассмотрено влияние различных факторов при конструировании сечений линейных изгибаемых элементов на реальную длину хомутов в соответствии с принятыми нормами. Представленная работа уточняет расход поперечной арматуры для ее наиболее экономичного использования.

Ключевые слова: железобетонная балка, оправка, поперечная арматура, прочность наклонных сечений, прочность нормальных сечений, рабочая высота сечения, хомут.

YU.A. SHAPOSHNIKOVA¹, V.S. KUZNETSOV¹¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

INFLUENCE OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON INDICATORS OF TRANSVERSAL REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE BEAMS

Abstract. The paper considers the influence of various factors on the actual length of clamps in the design of sections of linear bending reinforced concrete elements. The aim of the work is to determine the degree of influence of clamps of various configurations and other factors on the length of the clamp at various cross-sectional dimensions of a linear bending element. The obtained data and dependences make it possible to obtain the most effective solutions for reinforcing inclined sections with minimal cost. The calculation-analytical research method was used, based on the analysis of the results of calculations for various types of transverse reinforcement, the ratio of the diameters of the longitudinal and transverse reinforcement, the values of the protective layer, the radius of the bend of the clamp and the dimensions of the section. An expression is proposed for calculating the actual length of the clamp, depending on the dimensions of the section, the coefficient of reinforcement and the thickness of the protective layer, taking into account the mandrels used.

Graphs of the change in the length of the collar for various section sizes $b \times h$ from 20×40 cm to 55×80 cm and with a reinforcement coefficient of $0.1\% \leq \mu \leq 3\%$ have been obtained. The graphs show savings in the length of the clamp from 6.7-7.4%, when using working fittings $\varnothing 6$, to 12.2-37.9%, when using working fittings $\varnothing 40$. The dependencies of strength reduction under conditions of inaccurate binding of the working longitudinal reinforcement to the collars are analyzed. The data obtained indicate a decrease in the strength of normal sections of beams from 0.33% to 10.78%. The paper considers the influence of various factors in the design of the sections of linear bending elements on the actual length of the clamps in accordance with accepted standards. Thanks to the obtained data and dependences, it is possible to refine the consumption of transverse reinforcement in beams for its more economical use.

Keywords: mandrel, reinforced concrete beam, reinforcement clamp, strength of inclined sections, strength of normal sections, transverse reinforcement, working height of the section.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Optimization of reinforced concrete beams under local mechanical and corrosive damage // Engineering Optimization. 2022. doi.org/10.1080/0305215X.2022.2134356
2. Chakrabarty B.K. Models for optimal design of reinforced concrete beams // Journal of Structural Engineering. 1992. Vol. 118. No. 11. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:11(3238)
3. Coello C.C., Hernandez F.S. and Farrera F.A. Optimal design of reinforced concrete beams using genetic algorithms // Journal of Intelligent Learning Systems and Applications. 2014. Vol. 6. No. 4. doi.org/10.1016/S0957-4174(96)00084-X
4. Garstecki A., Glema A., Ścigała J. Optimal design of reinforced concrete beams and frames // Computer Assisted Mechanics and Eng. Sciences. 1996. No. 3 (3). Pp. 223-231.
5. Demby M., Ścigała J. Design aspects of the safe structuring of reinforcement in reinforced concrete bending beams // Modern building materials, structures and techniques, MBMST 2016. Procedia Engineering 172. 2017. Pp. 211-217. doi:10.1016/j.proeng.2017.02.051
6. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Y.A., Yandiev A.A. Selection of the optimal parameters of a reinforced concrete rectangular beam with single reinforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 962 (2): 022055. doi: 10.1088/1757-899X/962/2/022055
7. Jensen B.C. and Łapko A. On shear reinforcement design of structural concrete beams on the basis of theory of plasticity // Journal of Civil Engineering and Management. 2009. No. 15 (4). Pp. 395-403. doi.org/10.3846/1392-3730.2009.15.395-403
8. Minelli F. and Plizzari G.A. Shear design of FRC members with little or no conventional shear reinforcement // Ailor Made Concrete Structures – Walraven & Stoelhorst (eds). 2008. doi:10.1201/9781439828410.ch100
9. Балакай А.А., Цыганов М.В., Алейник Д.В., Дмитренко Е.А. Зависимость несущей способности наклонных сечений на действие поперечной силы от изменения длины проекции наклонного сечения // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 4 (144). С. 50-55.
10. Филатов В.Б., Арцыбасов А.С., Багаутдинов М.А., Гордеев Д.И., Кортунов А.И., Никитин Р.А. Анализ расчетных моделей при расчете прочности наклонных сечений железобетонных балок на действие поперечных сил // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Том 16. № 4-3. С. 642-645.
11. Снежкина О.В., Егинов Э.В., Ладин Р.А. Оценка влияния вертикальных хомутов на прочность железобетонных балок при действии поперечных сил // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 3. С. 57-61. Силантьев А.С., Лучкин Е.А. Работа изгибаемых элементов по наклонным сечениям с экстремально малым пролетом среза // Бетон и железобетон. 2020. № 2 (602). С. 28-33.
13. Тихонов И.Н., Саврасов И.П. Исследование прочности железобетонных балок с арматурой класса А500 при действии поперечных сил // Жилищное строительство. 2010. № 9. С. 32-37.
14. Аксёнов Н.Б., Задорожная А.В., Трофимова В.М., Синицина Т.В., Назаров А.В. Исследование влияния отклонений положения рабочей арматуры от проектного на прочность безбалочных перекрытий // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 [Электронный ресурс] URL:ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_113_Aksionov.pdf_91646016dd.pdf (дата обращения: 05.01.2023).
15. Яковлев С.Н., Поздеев В.М. Исследование железобетонных многопустотных плит перекрытий с дефектом смещения рабочей арматуры путем натуральных испытаний // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2016. № 5. С. 89-92.
16. Campione G., Monaco A., Minafò G. Shear strength of high-strength concrete beams: Modeling and design recommendations // Engineering Structures. 2014. No. 69 (9). Pp. 116-122. doi:10.1016/j.engstruct.2014.02.029

17. Zhuowei Wang A., Yufeng Liao and Weilun Wang. Effect of longitudinal reinforcement ratio and effective depth on shear capacity of PVA fiber high strength RC beams // *Advances in engineering research (AER)*. 2nd International Conference on Material Science, Energy and Environmental Engineering (MSEEE 2018). 2018. Vol. 169. doi:10.2991/mseee-18.2018.52
18. Кузнецов В.С., Кузнецов А.В., Смирнов М.Н. Нормативные допуски как факторы риска снижения долговечности строительных объектов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2005. № 5 (76). С. 80-81.
19. Кузнецов В.С., Прокуронова Е.А. Геометрические допуски как факторы риска снижения долговечности железобетонных элементов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2006. № 7 (90). С. 22-23.
20. Корчагин О.П., Зонина С.В. О специфике расчётов изгибаемых железобетонных конструкций по наклонным сечениям // *Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация*. 2018. № 1 (77). С. 12-20.
21. Kuznetsov V., Shaposhnikova Y. The cost of flexible elements of a rectangular profile // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021». *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 247. Pp. 33–40. doi:10.1007/978-3-030-80946-1_4
22. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Y.A. The structure of the content and cost of materials in bending reinforced concrete element with variable section height // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 151. Pp. 181–187. doi:10.1007/978-3-030-72910-3_26
23. Merta I., Kolbitsch A., Kravanja S. Cost optimization of reinforced concrete beams // *Conference: Sixth International Conference Concrete under Severe Conditions Environment & Loading*. At: Mérida. Yucatán. México. 2010. [Online]. URL:researchgate.net/publication/282132306_Cost_Optimization_of_Reinforced_Concrete_Beams (date of application: 05.01.2023).
24. Сутягин А.Е. Практический способ расчёта поперечной арматуры в балках // *Наука и безопасность*. 2012. № 4. С. 65-69.
25. Духанин П.В., Макшанов Н.Я. Определение допустимых технологий для осуществления поперечного армирования арматурного каркаса с учетом условий и факторов производства // *Ростовский научный журнал*. 2017. № 6. С. 301-307.
26. Радкевич А.В., Нетеса А.Н. Определение и ранжирование организационно-технологических факторов, обуславливающих рациональные решения соединения арматуры // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2017. № 3 (69). [Электронный ресурс]. URL: cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-i-ranzhirovanie-organizatsionno-tehnologicheskikh-faktorov-obuslovlivayuschih-ratsionalnye-resheniya-soedineniya/viewer (дата обращения: 05.01.2023).
27. Кузнецова С.В., Симаков А.Л., Рожков А.Н., Мамин Ю.А., Варнавская Т.В. Расчет отклонения поперечных сечений арматуры при автоматизированной гибке // *Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія: Приладобудування. 2015. № 50 (2). С. 106-114.
28. Biswas L. How to calculate cutting length of stirrups in beam and colum. [Online]. *Civil Read*. 2018. URL:civilread.com/cutting-length-stirrups/ (date of application: 05.01.2023).

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Optimization of reinforced concrete beams under local mechanical and corrosive damage. *Engineering Optimization*. 2022. doi.org/10.1080/0305215X.2022.2134356
2. Chakrabarty B.K. Models for optimal design of reinforced concrete beams. *Journal of Structural Engineering*. 1992. Vol. 118. No. 11. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:11(3238)
3. Coello C.C., Hernandez F.S. and Farrera F.A. Optimal design of reinforced concrete beams using genetic algorithms. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*. 2014. Vol. 6. No. 4. doi.org/10.1016/S0957-4174(96)00084-X
4. Garstecki A., Glema A., Ścigałło J. Optimal design of reinforced concrete beams and frames. *Computer Assisted Mechanics and Eng. Sciences*. 1996. No. 3 (3). Pp. 223-231.
5. Demby M., Scigałło J. Design aspects of the safe structuring of reinforcement in reinforced concrete bending beams. Modern building materials, structures and techniques, MBMST 2016. *Procedia Engineering* 172. 2017. Pp. 211-217. doi:10.1016/j.proeng.2017.02.051
6. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Y.A., Yandiev A.A. Selection of the optimal parameters of a reinforced concrete rectangular beam with single reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 962 (2): 022055. doi:10.1088/1757-899X/962/2/022055
7. Jensen B.C. and Łapko A. On shear reinforcement design of structural concrete beams on the basis of theory of plasticity. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2009. No. 15 (4). Pp. 395-403. doi.org/10.3846/1392-3730.2009.15.395-403

8. Minelli F. and Plizzari G.A. Shear design of FRC members with little or no conventional shear reinforcement. *Ailor Made Concrete Structures – Walraven & Stoelhorst (eds)*. 2008. doi:10.1201/9781439828410.ch100
9. Balakaj A.A., Cyganov M.V., Alejnik D.V., Dmitrenko E.A. Zavisimost' nesushhej sposobnosti naklonnyh sechenij na dejstvie poperečnoj sily ot izmenenija dliny proekcii naklonnogo sechenija [The dependence of the bearing capacity of inclined sections on the action of the shear force on the change in the length of the projection of the inclined section] // *Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury* [Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2020. No. 4 (144). Pp. 50-55 (rus)
10. Filatov V.B., Arcybasov A.S., Bagautdinov M.A., Gordeev D.I., Kortunov A.I., Nikitin R.A. Analiz raschetnyh modelej pri raschete prochnosti naklonnyh sechenij zhelezobetonnyh balok na dejstvie poperechnykh sil [Analysis of the design models for calculating the strength of inclined sections of reinforced concrete beams on the action of shear forces] // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Samara State University of Architecture and Civil Engineering]. 2014. Vol. 16. No. 4-3. Pp. 642-645 (rus)
11. Snezhkina O.V., Eginov Je.V., Ladin R.A. Ocenka vlijanija vertikal'nyh homutov na prochnost' zhelezobetonnyh balok pri dejstvii poperechnykh sil [Evaluation of the effect of vertical clamps on the strength of reinforced concrete beams under the action of transverse forces] // *Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction], 2014. No. 3. Pp. 57-61 (rus)
12. Silant'ev A.S., Luchkin E.A. Rabota izgibaemykh jelementov po naklonnym sechenijam s jeks-tremal'no malym proletom sreza [The shear resistance of bending elements with extremal small shear span] // *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2020. No. 2 (602). Pp. 28-33 (rus)
13. Tihonov I.N., Savrasov I.P. Issledovanie prochnosti zhelezobetonnyh balok s armaturoj klassa A500 pri dejstvii poperechnykh sil [Study of the strength of reinforced concrete beams with reinforcement class A500 under the action of transverse forces] // *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 9. Pp. 32-37 (rus)
14. Aksjonov N.B., Zadorozhnaja A.V., Trofimova V.M., Sinicina T.V., Nazarov A.V. Issledovanie vlijanija otklonenij polozhenija rabochej armatury ot proektnogo na prochnost' bezbalochnyh perekrytij [Investigation of the influence of the deviations of the position of the working armature from the project on the bearing strength of the overlap] // *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2018. No. 2 [Online] URL:ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_113_Aksionov.pdf_91646016dd.pdf (date of application: 05.01.2023) (rus)
15. Jakovlev S.N., Pozdeev V.M. Issledovanie zhelezobetonnyh mnogopustotnykh plit perekrytij s defektom smeshhenija rabochej armatury putem naturnykh ispytanij [Investigation of reinforced concrete multi-hollow floor slabs with a displacement defect of working reinforcement by field tests] // *Inzhenernye kadry - budushhee innovacionnoj jekonomiki Rossii* [Engineering personnel - the future of the innovative economy of Russia]. 2016. No. 5. Pp. 89-92 (rus)
16. Campione G., Monaco A., Minafò G. Shear strength of high-strength concrete beams: Modeling and design recommendations // *Engineering Structures*. 2014. No. 69 (9). Pp. 116-122. doi:10.1016/j.engstruct.2014.02.029
17. Zhuwei Wang A., Yufeng Liao and Weilun Wang. Effect of longitudinal reinforcement ratio and effective depth on shear capacity of PVA fiber high strength RC beams // *Advances in engineering research (AER)*. 2nd International Conference on Material Science. Energy and Environmental Engineering (MSEEE 2018). 2018. Vol. 169. doi:10.2991/mseee-18.2018.52
18. Kuznetsov B.C., Kuznetsov A.B., Smirnov M.N. Normativnye dopuski kak faktory riska snizhenija dolgovечnosti stroitel'nykh ob'ektov [Regulatory tolerances as risk factors for reducing the durability of construction objects] // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies XXI]. 2005. No. 5 (76). Pp. 80-81 (rus)
19. Kuznetsov B.C., Prokuronova E.A. Geometricheskie dopuski kak faktory riska snizhenija dolgovечnosti zhelezobetonnyh jelementov [Geometric tolerances as risk factors for reducing the durability of reinforced concrete elements] // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies XXI]. 2006. No. 7 (90). Pp. 22-23. (rus)
20. Korchagin O.P., Zonina S.V. O specifike raschjotov izgibaemykh zhelezobetonnykh konstrukcij po naklonnym sechenijam [On the specifics of calculations of bent reinforced concrete structures along inclined sections] // *Social'no-jekonomicheskie i tehicheskie sistemy: issledovanie, proek-tirovanie, optimizacija* [Socio-economic and technical systems: research, design, optimization]. 2018. No. 1 (77). Pp. 12-20 (rus)
21. Kuznetsov V., Shaposhnikova Y. The cost of flexible elements of a rectangular profile // XIV International Scientific Conference «Interagromash 2021». *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 247. Pp. 33–40. doi:10.1007/978-3-030-80946-1_4
22. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Y.A. The structure of the content and cost of materials in bending reinforced concrete element with variable section height // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 151. Pp. 181–187. doi:10.1007/978-3-030-72910-3_26
23. Merta I., Kolbitsch A., Kravanja S. Cost optimization of reinforced concrete beams // Sixth International Conference Concrete under Severe Conditions Environment & Loading. At: Mérida. Yucatán. México. 2010. [Online]. URL:researchgate.net/publication/282132306_Cost_Optimization_of_Reinforced_Concrete_Beams (date of application: 05.01.2023).

24. Sutjagin A.E. Prakticheskiy sposob raschjota poperechnoj armatury v balkah [A practical way to calculate transverse reinforcement in beams] // *Nauka i bezopasnost'* [Science and security]. 2012. No. 4. Pp. 65-69 (rus)
25. Duhanin P.V., Makshanov N.Ja. Opredelenie dopustimyh tehnologij dlja osushhestvlenija pope-rechnogo armirovaniya armaturnogo karkasa s uchetom uslovij i faktorov proizvodstva [Determination of acceptable technologies for the implementation of transverse reinforcement of the reinforcing cage, taking into account the conditions and factors of production] // *Rostovskij nauchnyj zhurnal* [Rostov scientific journal]. 2017. No. 6. Pp. 301-307 (rus)
26. Radkevich A.V., Netesa A.N. Opredelenie i ranzhirovanie organizacionno-tehnologicheskikh faktorov, obuslovlivajushhih racional'nye reshenija soedinenija armatury [Determination and ranking of organizational and technological factors that determine rational solutions for rebar connection] // *Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Science and progress of transport. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport]. 2017. No. 3 (69). [Online]. URL:cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-i-ranzhirovanie-organizatsionno-tehnologicheskikh-faktorov-obuslovlivayushchih-ratsionalnye-resheniya-soedineniya/viewer (date of application: 05.01.2023) (rus)
27. Kuznecova S.V., Simakov A.L., Rozhkov A.N., Mamin Ju.A., Varnavskaja T.V. Raschet odklonenija poperechnyh sechenij armatury pri avtomatizirovannoj gibke [Calculation of the deviation of the cross sections of reinforcement during automated bending] // *Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu Ukraini «Kiivs'kij politehničnij institut»*. Serija: *Priladobuduvannja* [Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Series: Instrumentation]. 2015. No. 50 (2). Pp. 106-114 (rus)
28. Biswas L. How to calculate cutting length of stirrups in beam and colum. [Online]. Civil Read. 2018. URL:civilread.com/cutting-length-stirrups/ (date of application: 05.01.2023).

Информация об авторах:

Шапошникова Юлия Александровна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: yuliatalyzova@yandex.ru

Кузнецов Виталий Сергеевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, профессор.
E-mail: aspgbk20@yandex.ru

Information about authors:

Shaposhnikova Yulia A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate in technical sciences, associate professor, associate professor of the department of Reinforced Concrete and stone Structures.
E-mail: yuliatalyzova@yandex.ru

Kuznetsov Vitaly S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate in technical sciences, professor.
E-mail: aspgbk20@yandex.ru