

Влияние нормативных допусков арматурного проката на технико-экономические показатели железобетонных элементов

В.С. Кузнецов, Ю.А. Шапошникова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Представлено теоретическое исследование влияния геометрических допусков арматуры на соответствие между весовой поставкой и погонажом проволоки или прутков. Рассмотрены вопросы экономичности и прочности изгибаемых железобетонных элементов с учетом влияния геометрических отклонений от номинальных значений, установленных нормами для арматуры различных классов. Использованы методы исследования, такие, как структурный и аналитический анализ. Проанализированы виды поставок арматурных сталей, регламентированные действующей законодательной базой РФ и широко применяющиеся в практике проектирования и строительства. Разработаны конкретные предложения при определении потребности в арматуре в весовом и линейном измерениях, а также при расчете прочности железобетонных элементов. Выявлено, что нормированное отклонение площади поперечного сечения существенно влияет на длину прутка в единице веса. Определены пограничные величины длины стержней для различных диаметров и классов арматуры.

Ключевые слова: арматура, арматурный прокат, диаметр, допуск, железобетон, поставка, прочность, поперечное сечение, технико-экономические показатели.

При проектировании железобетонных элементов достаточно важным является учет различных отклонений и допусков на стадиях проектирования, изготовления и монтажа конструкций [1-3]. Отклонения от линейных размеров элементов, отклонения от прямолинейности и плоскостности конструкций, отклонения размеров арматурных сеток и каркасов от заложенных проектных размеров и другие отклонения могут существенно повлиять на прочность и деформативность возведенных конструкций, особенно в случае наложения сразу нескольких неблагоприятных факторов, например, как показано в исследованиях [4-6].

В представленной статье рассмотрено теоретическое исследование влияния отклонений диаметра арматуры на соответствие между весовой поставкой и погонажом проволоки или прутков в пределах значений, допускаемых нормативными документами, например, такими, как ГОСТ Р 52544-2006, ГОСТ 5781-82 и ГОСТ 2590-88.

Потребность в арматуре для отдельного объекта или комплекса оформляется строительной организацией в виде заказа, где указываются требуемые классы арматуры, диаметры стержней или проволоки и количество в тоннах или килограммах.

При проектировании железобетонных конструкций расчетный расход стали, как правило, указывается в соответствии с ГОСТ Р 52544-2006 в весовых категориях (килограммах или тоннах), причем, при определении потребности арматуры на элемент, конструкцию или объект в целом, используются следующие параметры: номинальный диаметр прутка или проволоки d , плотность стали $\rho=7,85$ т/м³ и длина стержней в конкретных элементах.

Однако заказанное и полученное организацией количество арматуры в килограммах или тоннах может существенно отличаться от требуемой потребности по общей длине (погонаже) арматурной стали, что связано с установленными соответствующими ГОСТ отклонениями (допусками) на площадь поперечного сечения или на диаметр, обусловленные износом прокатных валков, неправильной или неточной настройкой программного обеспечения прокатных станов.

Так, для широко распространенной арматуры А500С, значения допусков установлены по площади поперечного сечения стержня в соответствии с ГОСТ Р 52544-2006, а для арматуры класса А240 допуски нормируются по диаметру сечения в соответствии с ГОСТ 2590-88.

К учету геометрических несовершенств призывают и международные нормы, например, Еврокод и британские стандарты [7-8], а также различные руководства для проектировщиков [9-10].

В таблице 1 представлены значения погонажа стержней в тонне арматуры (номинальная длина L , минимальная длина L_{min} , максимальная длина L_{max}) при допускаемых отклонениях площади поперечного сечения, а

также дефицит или избыток погонажа по сравнению с номиналом, в зависимости от номинальной площади A_s стержней поперечного сечения диаметром d .

Таблица № 1

Погонаж стержней в тонне арматуры А500С при допускаемых отклонениях площади поперечного сечения

d , мм	A_s , см ²	Отклонение от A_s , %	Длина прутков в тонне арматуры А500С			Дефицит погонажа стержней в тонне, м	Избыток погонажа стержней в тонне, м
			L , м	L_{min} , м	L_{max} , м		
6	0,283	±8	4504,5	4170,8	4864,9	333,7	360,4
8	0,503	±8	2531,7	2344,1	2734,2	187,5	202,5
10	0,785	±5	1623,4	1503,1	1753,3	120,3	129,9
12	1,131	±5	1126,1	1042,7	1216,2	83,42	90,09
14	1,539	±5	827,81	766,49	894,04	61,32	66,23
16	2,011	±4	633,71	586,77	684,41	46,94	50,70
18	2,545	±4	500,50	463,43	540,54	37,07	40,04
20	3,142	±4	405,52	375,48	437,96	30,04	32,44
22	3,801	±4	335,12	310,30	361,93	24,82	26,81
25	4,909	±4	259,54	240,31	280,30	19,23	20,76
28	6,158	±4	206,87	191,54	223,42	15,32	16,55

Графическая интерпретация влияния допусков на общую длину стержней в условном объеме, равном одной тонне продукции, представлена на рис. 1.

Видно, что наибольшее влияние допусков сказывается на арматуре малых диаметров. Так, при заказе строительной организацией арматуры А500С диаметром 6 мм, с увеличенной площадью поперечного сечения на допуск, дефицит достигает 360,4 погонных метров на каждую тонну

арматуры, а при арматуре с уменьшенной площадью избыток погонажа равен 337,7 метров. Минимальный и максимальный погонаж арматуры в тонне стали могут быть выражены аппроксимирующей степенной функцией, достаточно точно описывающей представленные кривые.

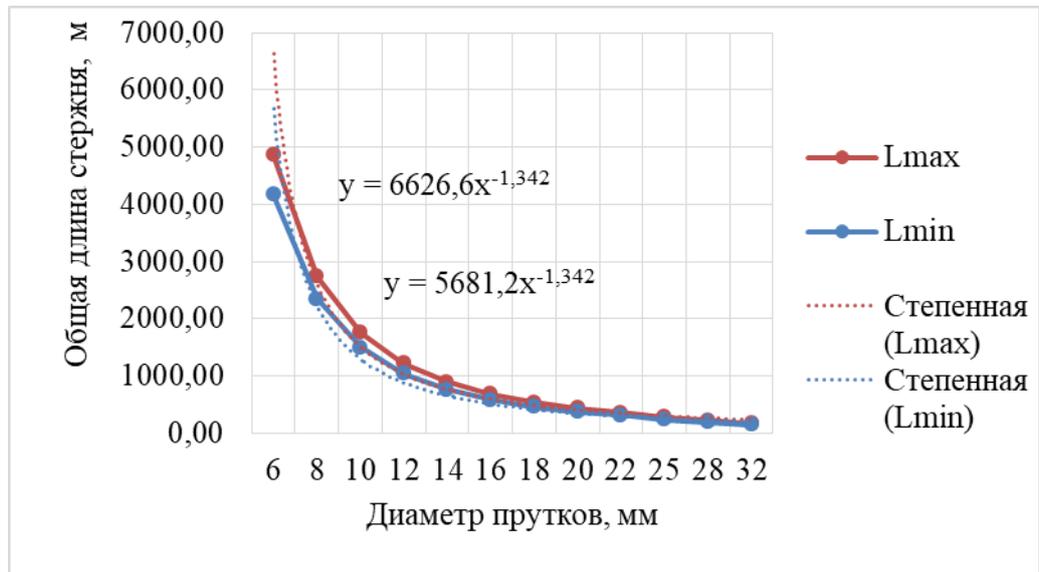


Рис. 1. – Максимальный и минимальный погонажи стержней в тонне арматуры класса А500С

Очевидно, что учет указанных факторов в первую очередь актуален для строительных организаций, где для некоторых объектов потребность в арматуре достигает десятков и сотен тонн и приводит к дополнительным организационным и материальным затратам, связанным с оформлением заказов на недостающую арматуру, ее доставкой и прочим, а, следовательно, к увеличению продолжительности строительства и его удорожанию.

Не менее важным является учет данной ситуации при проектировании железобетонных конструкций, когда в расчетах прочности или деформативности закладываются номинальные значения сечений, а фактические могут значительно отличаться в меньшую сторону от принятых. Фактор является особо важным для арматуры А500С, которая преимущественно используется в качестве рабочей и обеспечивает прочность элементов.

Аналогичная картина наблюдается и для гладкой арматуры класса А240, точности прокатки «В». Значения таблицы 2 и графиков на рис. 2 показывают, что наибольшее влияние допусков сказывается на арматуре малых диаметров.

Таблица № 2

Погонаж стержней в тонне арматуры А240 при допускаемых отклонениях по диаметру стержней

d , мм	A_s , см ²	Отклонение по d , мм	Длина прутков в тонне арматуры А240			Дефицит погонажа стержней в тонне, м	Избыток погонажа стержней в тонне, м
			L , м	L_{min} , м $\Delta=+8\%$	L_{max} , м $\Delta=-8\%$		
6	0,283	+0,3(-0,5)	4504,5	4086,56	5361,84	417,94	857,34
8	0,503	+0,3(-0,5)	2531,7	2354,42	2883,48	177,23	351,83
10	0,785	+0,3(-0,5)	1623,4	1528,85	1797,18	94,53	173,81
12	1,131	+0,3(-0,5)	1126,1	1072,09	1226,43	54,04	100,31
14	1,539	+0,3(-0,5)	827,81	793,17	889,96	34,64	62,15
16	2,011	+0,3(-0,5)	633,71	610,47	675,11	23,24	41,40
18	2,545	+0,3(-0,5)	500,50	484,33	529,62	16,18	29,12
20	3,142	+0,4(-0,5)	405,52	389,74	426,55	15,77	21,04
22	3,801	+0,4(-0,5)	335,12	323,25	350,88	11,87	15,76
25	4,909	+0,4(-0,5)	259,54	251,40	270,21	8,13	10,68

Так, для арматуры А240 диаметром 6 мм, с увеличенным на допуск диаметром поперечного сечения, недобор достигает 417,94 погонных метров на каждую тонну арматуры, а при уменьшенном диаметре погонаж увеличивается на 857,34 м.

Например, для арматуры класса В500С, диаметром 4-12 мм, допускаемое отклонение от номинальной площади поперечного сечения

составляет $\pm 4,5\%$, что отвечает общей тенденции ситуации, исследуемой в данной статье.

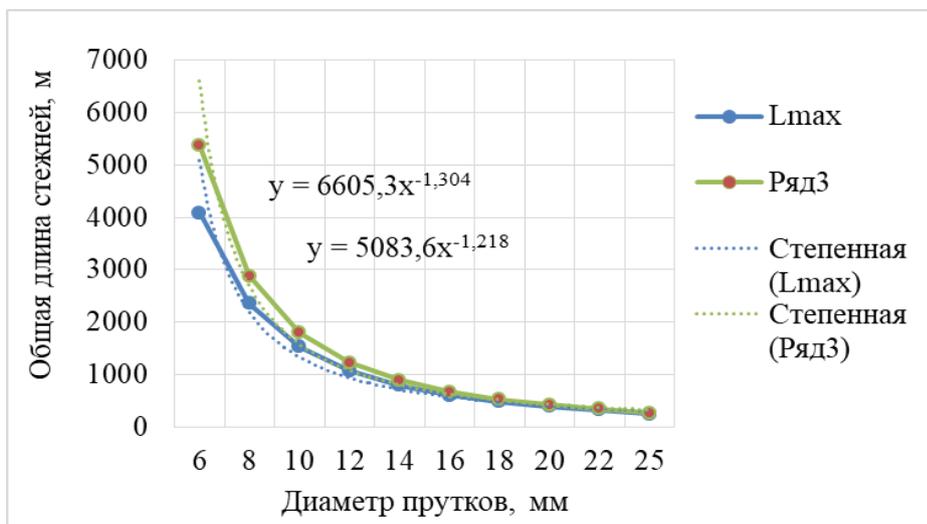


Рис. 2. – Общая длина стержней при различных допусках для арматуры А240

Влияние арматуры с минусовым допуском на несущую способность нормального сечения изгибаемого элемента изучалось посредством введения понятия условного момента $M_{сеч}$, вычисляемого без учета влияния положения нейтральной оси, то есть при $(h_0 - 0,5x) = D = const$ в уравнении прочности нормального сечения по арматуре $M_{сеч} = R_s A_s D$. Полученные результаты представлены на рис. 3.

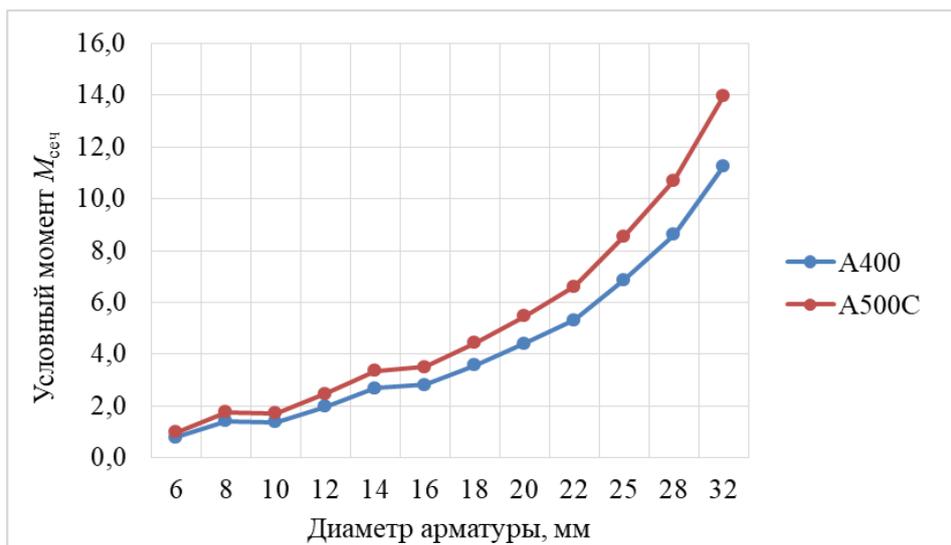


Рис. 3. – Уменьшение условного момента при минусовых допусках для арматуры А500С и А400

Несмотря на то, что отклонения по площади стержня или его диаметра установлены соответствующими нормами, их влияние может достигать значительных величин по сравнению с расчетами, использующими номинальные значения этих параметров. Так, данные, показанные на рис. 3, говорят о снижении прочности нормальных сечений изгибаемых элементов до 14%.

Таким образом, использование металлической арматуры, с установленными соответствующими нормативными документами номинальными величинами площади или диаметра прутков, может приводить к получению строительной фирмой арматуры не в полном объеме. А данная ситуация, в свою очередь, может привести к повышению расходов на строительство или к недобору прочности железобетонными элементами, особенно в случае наложения нескольких неблагоприятных факторов одновременно.

Литература

1. Зуев И.А., Ветров Е.А., Нагорный Д.О., Шибуняев А.Н., Сильванович А.А., Демьяненко С.А. Сравнительные экологические характеристики производства стальной и стеклопластиковой арматуры // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_2_Zuev_Vetrov.pdf_84e5386a7e.pdf.

2. Белаш В.В. Синтетический подход к разработке технологии изготовления холоднодеформированной арматуры с учетом требований типа и потребностей рынка // Литье и металлургия, 2017, №4 (89). С. 16-19.

3. Будко А.А., Потехин А.А., Акопян А.А. Композитная арматура, достоинства и недостатки, сравнение с традиционной стальной арматурой // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Технические науки: тенденции, перспективы и технологии

развития». Волгоград: Инновационный центр развития образования и науки, 2016. С. 148-152.

4. 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. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_113_Aksionov.pdf_91646016dd.pdf.

5. Чубаров В.Е., Умаров А.Г., Маилян В.Д. К расчету железобетонных колонн со смешанным армированием // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_chubarov.pdf_383abdeab6.pdf.

6. Drakakaki A., Apostolopoulos C. The size effect of rebars, on the structural integrity of reinforced concrete structures, which are exposed to corrosive environments. Matec Web of Conferences «5th International Conference of Engineering Against Failure, ICEAF-V 2018», Chios: EDP Sciences, 2018.

7. BS8110. British standart. Structural use of concrete, 2010.

8. La norme NBN EN 1992-1-1. Eurocode 2, 1998.

9. Биби Э.В., Нараянан Р.С. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций. М.: МИСИ-МГСУ, 2013. 290 с.

10. Comite Euro-International du Beton. Manual for the Design of Durable Structures. CEB Bulletin d'Information 185. Lausanne: FIB, 1988. 112 p.

References

1. Zuev I.A., Vetrov E.A., Nagornyj D.O., Shebunjaev A.N., Sil'vanovich A.A., Dem'janenko S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_2_Zuev_Vetrov.pdf_84e5386a7e.pdf.

2. Belash V.V. Lit'e i metallurgija, 2017, №4 (89). Pp. 16-19.

3. Budko A.A., Potehin A.A., Akopjan A.A. Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Tehnicheskie nauki:

tendencii, perspektivy i tehnologii razvitija. Volgograd: Innovacionnyj centr razvitija obrazovanija i nauki [Innovation Center for the Development of Education and Science], 2016 . Pp. 148-152.

4. Aksjonov N.B., Zadorozhnaja A.V., Trofimova V.M., Sinicina T.V., Nazarov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_113_Aksionov.pdf_91646016dd.pdf.

5. Chubarov V.E., Umarov A.G., Mailjan V.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_chubarov.pdf_383abdeab6.pdf.

6. Drakakaki A., Apostolopoulos C. The size effect of rebars, on the structural integrity of reinforced concrete structures, which are exposed to corrosive environments. Matec Web of Conferences «5th International Conference of Engineering Against Failure, ICEAF-V 2018», Chios: EDP Sciences, 2018.

7. BS8110. British standart. Structural use of concrete, 2010.

8. La norme NBN EN 1992-1-1. Eurocode 2, 1998.

9. Bibi Je.V., Narayanan R.S. Rukovodstvo dlja proektirovshhikov k Evrokodu 2: Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij [Designer's Guide to Eurocode 2: Reinforced Concrete Structural Design]. M.: MISI-MGSU, 2013, 290 p.

10. Comite Euro-International du Beton. Manual for the Design of Durable Structures. CEB Bulletin d'Information 185. Lausanne: FIB, 1988. 112 p.