

УДК 624

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-21-29](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-21-29)**В.Д. ТЕРИН<sup>1,2</sup>, Д.Е. КЛИМОВ<sup>1</sup>, А.С. СУПРУНЮК<sup>1,2,✉</sup>**

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОВРЕМЕННОЙ АРМАТУРЫ

## Аннотация

**Введение.** В современном мире, где основной упор в строительстве делается на безопасность жизни людей, в нашей стране до сих пор производится и применяется стальная арматура, способная хрупко разрушаться при негативном стечении обстоятельств по причине высокого содержания в ней углерода. В европейских странах еще с конца прошлого века ограничено содержание углерода до 0,22 % во всем ненапрягаемом арматурном прокате, у нас же допускается содержание углерода в арматуре до 0,29 %. Строительные нормы на сегодняшний день позволяют использовать подобный арматурный прокат с высоким содержанием углерода даже в сооружениях, которые могут испытывать особые неблагоприятные воздействия окружающей среды.

**Цель.** Показать проблему возможности хрупкого разрушения стальной арматуры, производимой по существующим стандартам, с возможностью ее применения в строительной отрасли по российским сводам правил, в том числе в особых условиях эксплуатации и в ответственных зданиях и сооружениях.

**Материалы и методы.** Для проведения эксперимента использовался арматурный прокат классов А500С и А400 из стали марок ЗГсп и 25Г2С соответственно. Исследования свойств арматуры и ее сварных соединений выполнены с использованием стандартизированных и специальных методик и включают испытания на растяжение, изгиб и ударную вязкость при температуре от +20 до -60 °С.

**Результаты.** Получены экспериментальные данные, характеризующие эксплуатационные свойства арма-

турного проката разных классов и подтверждающие возможность возникновения хрупких разрушений рабочей арматуры, выпускаемой в РФ и применяемой в соответствии с требованиями сводов правил.

**Выводы.** Проведенное исследование позволяет увидеть, как на первый взгляд хорошая по пластическим свойствам арматура, при оценке эксплуатационных свойств коренным образом может изменить представление о качестве и безопасности ее применения.

**Ключевые слова:** стальная арматура, хрупкость, пластичность, эксплуатационные свойства, ударная вязкость, доля вязкой составляющей, концентратор напряжений, армирование, железобетон, влияние углерода, сварные соединения арматуры

**Для цитирования:** Терин В.Д., Климов Д.Е., Супрунчук А.С. Эксплуатационные свойства современной арматуры // *Бетон и железобетон*. 2025. № 5 (630). С. 21–29 DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-21-29](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-21-29). EDN: PENNWD

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 09.12.2024

Поступила после рецензирования 12.02.2025

Принята к публикации 20.02.2025

V.D. TERIN<sup>1,2</sup>, D.E. KLIMOV<sup>1</sup>, A.S. SUPRUNYUK<sup>1,2,✉</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

# PERFORMANCE PROPERTIES OF MODERN REINFORCING BARS

## Abstract

*Introduction.* In the modern world, where the main emphasis in construction is placed on the safety of human life, in our country we still produce and use steel reinforcing bars that are capable of brittle fracture under negative circumstances due to their high carbon content. In European countries the carbon content is limited to 0.22 % in all non-tensioned rebar at the end of the last century, in our country carbon content up to 0.29 % is allowed. Today's building regulations allow the use of such high-carbon reinforcing bars even in structures that may be subject to special adverse environmental influences.

*Aim.* To highlight the problem of the potential brittle fracture of steel reinforcement produced in accordance with existing standards, with the possibility of its use in the construction industry in accordance with Russian codes of practice, including in special operating conditions and in responsible buildings and structures.

*Materials and methods.* For the experiment, A500C and A400 classes reinforcing bars made of 3Gsp and 25G2S grades steel respectively were used. The properties of the reinforcement and its welded joints were studied using standardised and specialized methods, including tensile, bending and impact tests at temperatures ranging from +20 to -60 °C.

*Results.* Experimental data characterizing the performance properties of rolled reinforcement bars of different classes were obtained, confirming the possibility of brittle failure of working reinforcement bars manufactured in the Russian Federation and used in accordance with requirements of codes of practice.

*Conclusions.* The conducted research allows us to see how a reinforcement bars that at first glance are good in terms of plastic properties, can radically change the perception of the quality and safety of its use when evaluating its operational properties.

**Keywords:** steel reinforcement, embrittlement, plasticity, performance properties, impact toughness, proportion of viscous component, stress concentrator, reinforcement, reinforced concrete, influence of carbon, welded reinforcement joints

**For citation:** Terin V.D., Klimov D.E., Suprunyuk A.S. Performance properties of modern reinforcing bars. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 5 (630), pp. 21–29. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5\(630\)-21-29](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-5(630)-21-29). EDN: PENNWD

## Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 09.12.2024

Revised 12.02.2025

Accepted 20.02.2025

Бетон – это хрупкий материал, особенно при растяжении. Способностью деформироваться в растянутой зоне железобетонные конструкции полностью обязаны применяемой в них арматуре, которая в свою очередь обычно имеет пластичный характер разрушения. Но что если арматура в конструкции, точно так же как и бетон, разрушится хрупко, да еще и при неожиданно малом усилии? В такой ситуации аварии и материального ущерба не избежать.

Разрушение железобетонных конструкций от хрупкого обрыва рабочей арматуры в них крайне опасно. Такие обрывы арматуры происходят внезапно, без заметной пластической деформации, что может привести к мгновенному или прогрессирующему разрушению самой конструкции.

В 21 веке современный арматурный прокат обладает хорошим сочетанием высоких прочностных и пластических свойств. У него высокая стойкость к концентраторам напряжений, он не образует закалочных трещин при сварке, легко гнется в подкову при любом производимом номинальном диаметре. Кажется, откуда тут взяться хрупкому разрушению? Но есть ситуации, когда это все-таки возможно.

Локальная хрупкость арматуры обычно обусловлена формированием и развитием трещин на напряженном участке, возникающим по тем или иным причинам. Причинами могут быть как внешние факторы окружающей среды или напряженного состояния, так и дефекты, а также особенности самой арматуры. Фактором, при котором может возникнуть локальная хрупкость в стальной арматуре, может быть химический состав стали арматурного проката и способ ее производства.

Основной упрочняющий элемент в стали – углерод. Его высокое содержание в стальной арматуре повышает ее прочностные характеристики, улучшает прокаливаемость, снижает себестоимость. Однако при этом углерод снижает хладостойкость стали, стойкость к концентраторам напряжений, увеличивает вероятность образования закалочных трещин (например, при сварке). Все это повышает склонность арматурного проката к хрупкому разрушению при возможных сочетаниях неблагоприятных факторов, что в свою очередь приводит к возможности хрупкого разрушения и самой железобетонной конструкции.

Проблема высокого содержания углерода в арматуре не нова. Содержание углерода в арматурном прокате неуклонно снижалось. Такие марки арматурной стали, как 80С, Ст5, 35ГС, уже не выпускаются или практически не выпускаются, имея при этом ограничения в применении [1]. В Европе для ненапряженной арматуры углерод давно ограничен требованиями EN значением в 0,22 % [2]. Новый основной ГОСТ 34028-2016 [3] на арматурный прокат, действующий в РФ, для свариваемой арматуры также ограничивает содержание углерода (С) до 0,24 % и угле-

родного эквивалента ( $C_{экр}$ ) до 0,52. Казалось бы, что проблема уже исчерпана. Однако несмотря на то, что данная тема поднималась не один раз, необходимого внимания ей все-таки не уделено, поскольку на сегодняшний день строительные нормы допускают использование арматурного проката с повышенным содержанием углерода (до 0,31 % с учетом ликвации) [4], в том числе с применением сварных соединений и в условиях особых воздействий как по нагрузке, так и по условиям окружающей среды.

В данной статье на примере эксплуатационных свойств арматурного проката, производимого и применяемого в настоящее время в РФ, из стали с различным химическим составом и технологией производства авторы показывают влияние углерода на реально существующую вероятность хрупкого разрушения арматуры в железобетонных конструкциях.

Для оценки механических и эксплуатационных свойств арматурного проката в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в 2023 году был проведен целый комплекс испытаний, включающих оценку свариваемости с учетом влияния сварки на эксплуатационные свойства проката и оценку ударной вязкости производимого в РФ арматурного проката с характером разрушения при различной температуре.

Выбранная для исследований арматура имеет отличия как по химическому составу стали, так и по технологии производства. Арматура класса А500С произведена по ГОСТ 34028-2016 [3] из стали марки 3Гсп по технологии термомеханического упрочнения в потоке проката (ТМУ), арматура класса А400 произведена по ГОСТ 5781-82 [4] из стали 25Г2С по технологии горячей прокатки (ГК). В табл. 1 представлен фактический химический состав исследуемой арматуры.

Оценивая результаты механических свойств арматурного проката двух видов в состоянии поставки (табл. 2), можно заметить, что ГК арматура из стали 25Г2С обладает более высоким отношением временного сопротивления к пределу текучести и большим относительным удлинением в сравнении с ТМУ арматурой из стали 3Гсп, что обеспечивает более высокие пластические свойства, актуальные с точки зрения безопасности железобетонной конструкции. Однако результаты приведенных ниже исследований по оценке эксплуатационных свойств проката показывают, что не все так однозначно.

Для оценки эксплуатационных свойств арматурного проката, а именно свариваемости и склонности к образованию закалочных трещин, проведены испытания образцов сварных стыковых соединений типа С1-Ко, выполненных контактно-стыковой сваркой, на растяжение, и крестообразных соединений типа КЗ-Рп, выполненных ручной дуговой сваркой прихватками, на растяжение и изгиб. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 1

Химический состав стали исследуемых образцов арматурного проката

Table 1

Chemical composition of steel of the studied samples of rebar rolled products

Класс арматуры	Марка стали, диаметр	Массовая доля химических элементов в стали (готовый прокат), %											C <sub>экв</sub>
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Nb	Mo	P	S	
A500C по [3]	Ст3Гсп, 25 мм	0,21	0,21	0,99	0,03	0,02	0,03	0,004	0,001	0,001	0,012	0,014	0,39
A400 по [5]	25Г2С, 25 мм	0,29	0,75	1,33	0,14	0,13	0,18	0,006	–	0,02	0,017	0,021	0,59

Примечание: Значения C<sub>экв</sub> посчитаны по формуле из [3].

Таблица 2

Средние значения механических свойств арматурного проката в состоянии поставки

Table 2

Average values of mechanical properties of rebar rolled products in the state of delivery

Класс, d <sub>н</sub>	Марка стали	σ <sub>т(0,2)</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ <sub>5</sub> , %	δ <sub>р</sub> , %	σ <sub>в</sub> /σ <sub>т</sub>	Изгиб вокруг оправки диаметром C = 3d <sub>н</sub>
A500C, 25 мм	Ст3пс	600,0	714,9	19,6	8,5	1,19	180°
A400, 25 мм	25Г2С	442,3	708,7	24,0	13,7	1,60	90°

Таблица 3

Результаты испытаний на растяжение образцов стыковых и крестообразных сварных соединений стержневой арматуры

Table 3

The results of tensile tests of butt and cruciform welded joints of rod reinforcement

№	Марка стали	Тип сварного соединения	Вид испытания	Временное сопротивление, σ <sub>в</sub> <sup>св</sup> , Н/мм <sup>2</sup>	Угол изгиба, град.	Характер разрушения образцов
1	Ст3Гсп	С1-Ко	растяжение	648–664	–	з.т.в., пластично
2			К3-Рп	растяжение	703–706	–
3		изгиб		–	180	без трещин
1	25Г2С	С1-Ко	растяжение	702–717	–	о.м.
2			К3-Рп	растяжение	627–698	–
3		изгиб		–	19–31	разруш., хрупко

Принятые в таблице сокращения: «о.м.» – по основному металлу, вдали от места сварки; «з.т.в.» – в зоне термического влияния сварки.

Испытания сварных образцов типа С1-Ко, выполненных сваркой с большими тепловложениями, демонстрируют, что ТМУ арматура из стали 3Гпс имеет снижение временного сопротивления образцов на 7 % при сохранении пластичного характера разрушения. Образцы из ГК арматуры из стали 25Г2С не снижают своего временного сопротивления и разрушаются по основному металлу пластично.

Испытания крестообразных соединений типа К3-Рп прихватками из стали 3Гпс при растяжении

разрушались по основному металлу пластично, а при изгибе на оправке 5d на 180° они выдержали испытание без образования трещин.

Испытания крестообразных соединений типа К3-Рп из стали 25Г2С при растяжении разрушились хрупко со снижением временного сопротивления до 11 %. При изгибе они разрушились хрупко при малых углах загиба (20–30°). Испытанные образцы представлены на рис. 1. Несмотря на то что такие испытания сварных образцов на изгиб не регламен-

тированы ГОСТ 5781-82 [4] для арматурного проката класса А400 из стали марки 25Г2С, они являются обязательными для арматуры класса А400 по более современному ГОСТ 34028-2016 [3], оценивая стойкость проката к концентраторам напряжений в виде ожога сварочной дугой. Полученные результаты подтверждают склонность арматуры с высоким содержанием углерода образовывать кристаллизационные трещины при сварке с малыми тепловложениями, являющимися концентраторами напряжений и причиной хрупкого разрушения арматуры. Все это лишним раз заставляет задуматься о потенциальных рисках, возникающих при применении в строительстве ответственных сооружений подобного арматурного проката.

Одним из принятых критериев оценки стойкости стали к концентраторам напряжений является оценка ее вязкости и значений ударной вязкости при разрушении, определяемые на специальных образцах с нанесенным концентратором в виде надреза.

Хрупкое поведение бетона при растягивающих напряжениях требует повышенной пластичности и вязкости рабочей арматуры для обеспечения безопасности железобетонных конструкций. Поскольку большинство случаев хрупкого разрушения, происходящих в стальном прокате при умеренных или низких напряжениях, связано с низкой температурой и динамическими нагрузками, то необходимо учитывать как вязкость разрушения арматурных сталей, так и температурный диапазон перехода от вязкого разрушения к хрупкому.

Саму вязкость металла можно охарактеризовать как присущую ему способность поглощать механическую энергию и пластически деформироваться до разрушения. В нашей стране сопротивление хрупким

разрушениям металлических конструкций оценивают по гарантированным величинам ударной вязкости – частное от деления работы разрушения на площадь сечения образца под надрезом [5, 6]. В зарубежной практике определяют работу разрушения (Дж), эту величину описывают и стандартизируют [7].

Оценка фактической ударной вязкости арматуры А500С из стали марки 3Гпс и А400 из стали марки 25Г2С проводилась на стандартных образцах типа 11 с V-образным концентратором по [6] при температуре от +20 до -60 °С.

По полученным результатам (табл. 4, рис. 2) мы можем наблюдать, что для арматуры из Ст3Гсп показатели ударной вязкости имеют достаточно высокие значения, а доля вязкой составляющей (табл. 5) при понижении температуры неуклонно снижается, гарантируя сохранение данного показателя на уровне не менее 50 % при 0 °С. Это показывает, что данная арматура обладает хорошей стойкостью к хрупким разрушениям до 0 °С, однако при более низкой температуре существенно возрастает доля хрупкой составляющей в изломе при разрушении образца.

Для арматурного проката из стали 25Г2С в тех же условиях мы имеем крайне низкие значения ударной вязкости (от 29,8 до 11,4 Дж/см<sup>2</sup>) на всем диапазоне температуры, включая комнатную. При этом доля вязкой составляющей в изломе испытанных образцов при комнатной температуре составляет менее 5 %, а при понижении температуры и вовсе падает до нуля. Все это демонстрирует низкую хладостойкость, низкую стойкость к концентраторам напряжений и высокую склонность данного арматурного проката к хрупким разрушениям, в том числе по причине достаточно высокого содержания углерода в стали.



а (а)



б (б)

**Рис. 1.** Хрупкое разрушение образцов сварных соединений типа К3-Рп из арматуры 25Г2С при испытаниях на растяжение (а) и изгиб (б)

**Fig. 1.** Brittle fracture of samples of welded joints of K3-Rp type from 25G2S reinforcement during tensile (a) and bending (b) tests

Результаты испытаний на ударный изгиб в диапазоне температуры от +20 до -60 °С

Таблица 4

Table 4

The results of impact bending tests in the temperature range from +20 to -60 °C

Класс арматуры/ Марка стали	Ударная вязкость KCV, Дж/см <sup>2</sup>				
	Температура, °C				
	+20	0	-20	-40	-60
A500C/Ст3Гсп	247,5	238,7	67,8	41,5	44,0
	231,7	212,5	72,7	41,7	39,9
	225,1	127,2	85,8	56,3	47,0
A400/25Г2С	28,3	13,8	14,8	14,2	31,3
	29,8	23,3	11,4	11,4	14,4
	25,0	18,8	15,0	10,2	15,1

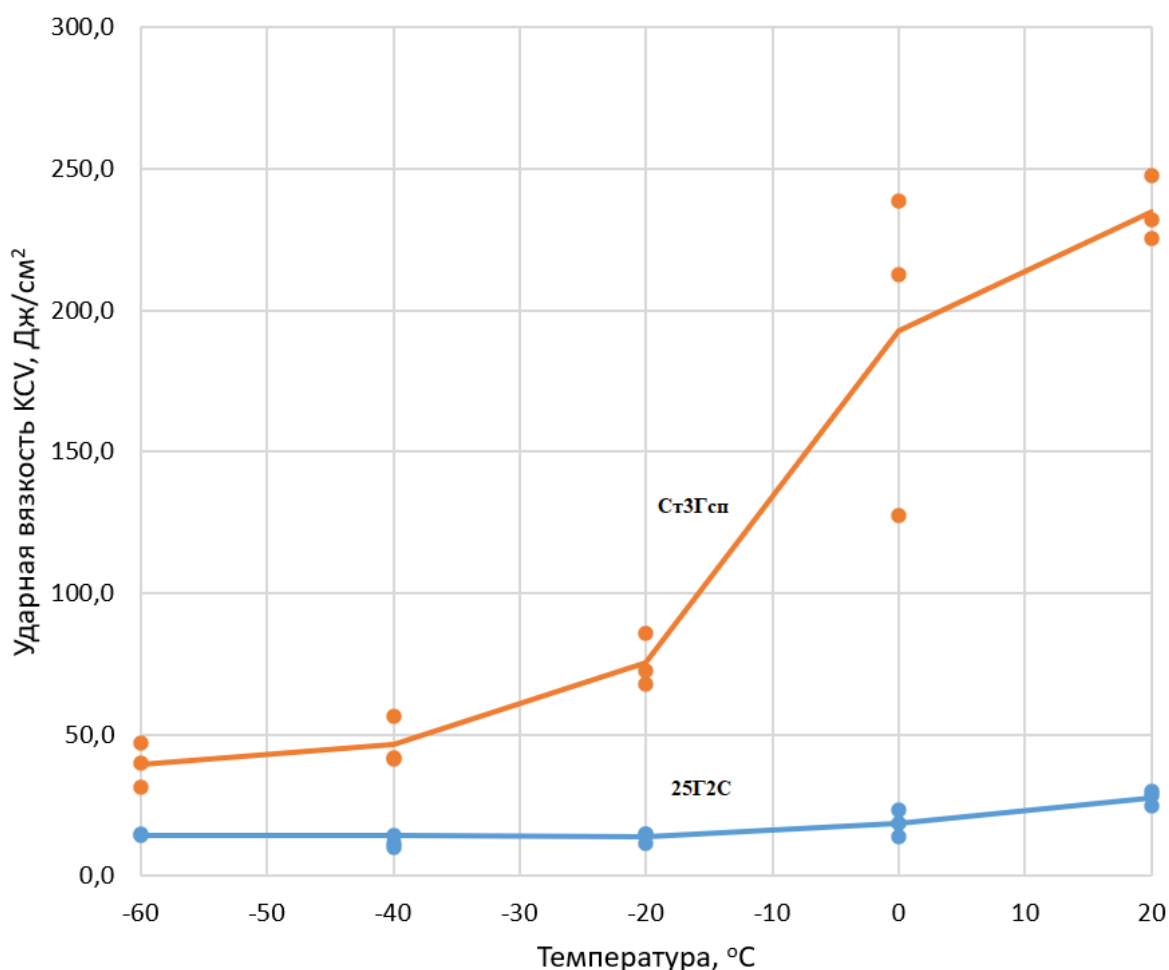












Рис. 2. Показатели ударной вязкости арматурного проката при температуре от -60 до +20 °C  
 Fig. 2. Impact strength of rebar rolled products at temperatures from -60 to +20 °C

Таблица 5

Изменение характера излома образцов арматуры Ø 25 из стали Ст3Гсп и 25Г2С после испытаний на ударный изгиб в диапазоне температуры от +20 до -60 °С

Table 5

Changes in fracture behavior of 25 mm diameter reinforcement specimens made of St3Gsp and 25G2S steel after impact bending tests in the temperature range from +20 to -60 °C

Температура испытаний, °С				
+20	0	-20	-40	-60
образцы арматуры из стали Ст3Гсп				
				
Доля вязкой составляющей в изломе, среднее значение, %				
100	65	28,7	12,3	8
образцы арматуры из стали 25Г2С				
				
Доля вязкой составляющей в изломе, среднее значение, %				
2,3	0	0	0	0

Проблема высокого содержания углерода в арматурном прокате очередной раз не решена даже с выходом ГОСТ 34028-2016 [3], который, как и европейские требования, ограничивает значение углерода для свариваемой арматуры – не более 0,22–0,24 %. В нынешнем арматурном прокате, до сих пор выпускаемом по ГОСТ 5781-82 [4] из стали 25Г2С, содер-

жание углерода может достигать 0,29–0,31 %, а значения  $C_{экв}$  – до 0,62.

При этом, в соответствии с положениями российских сводов правил, в строительной отрасли до сих пор существует возможность применения арматурного проката с высоким содержанием углерода в конструкциях с особыми условиями эксплуатации. Так,

в СП 14.13330.2018 [8] в разделе 6.7 «Особенности проектирования железобетонных конструкций в сейсмически активных районах» допускается применение арматуры А400 из стали 25Г2С в качестве рабочей ненапрягаемой арматуры с применением ручной дуговой сварки в крестообразных соединениях, характер разрушения которых может быть таким же, как на рис. 1. Однако при проектировании железобетонных конструкций и выборе арматурного проката нужно учитывать, что при сейсмическом воздействии отдельные участки конструкций могут испытывать нагрузки, превышающие их несущую способность. В этих случаях вязкостные и пластические свойства арматуры, обладающей высокой удельной энергией разрушения, нечувствительностью к концентраторам напряжений, способной воспринимать большие деформации до разрыва, становятся наиболее актуальными.

Поскольку арматурный прокат из стали 25Г2С, обладая высоким содержанием углерода, в соответствии с требованиями СП 14.13330.2018 [8] допускается к применению в качестве рабочей ненапрягаемой арматуры, в том числе со сварными стыками, то возможность хрупкого разрушения этой арматуры в железобетонных конструкциях существует до сих пор. Конечно, вероятность такого развития событий во многом зависит от сочетания неблагоприятных факторов, таких как химический состав стали и технология производства арматуры, наличие концентраторов напряжения, обусловленных применением сварки или полученных иными путями, воздействие динамической или ударной нагрузки, в том числе сейсмические воздействия, а также эксплуатация в условиях низкой отрицательной температуры, снижающих вязкостные свойства сталей и актуальных для инфраструктурных объектов. Но такая вероятность все еще остается достаточно значимой, а риски хрупких разрушений существенно недооценены.

#### Список литературы

1. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. Москва: Воентехлит, 2000. 256 с.
2. Евроноормы. EN 10080 Steel for reinforcement of concrete. – Weldable ribbed reinforcing steel B500 – Technical delivery conditions for bars, coils and welded. CEN. 1995, 43 p.
3. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
5. Одесский П.Д., Кулик В.Д. Сталь с высоким сопротивлением экстремальным воздействиям. Москва: Интернет Инжиниринг, 2008. 239 с.
6. ГОСТ 9454-78. Металлы. Методы испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной

и повышенных температурах. Москва: Издательство стандартов, 1994.

7. EN 10045-1. Metallic materials. Charpy impact test. Part 1: Test method. 1990.
8. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. Москва: Стандартинформ, 2018.
9. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 1975. 233 с.
10. Nikolaou J., Papadimitriou G.D. Impact toughness of reinforcing steels produced by (i) the Tempcore process and (ii) microalloying with vanadium. *International Journal of Impact Engineering*. 2005, vol. 31, no. 8, pp. 1065–1080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2004.05.005>.

#### References

1. Madatyan S.A. Reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Voentekhlit Publishing House, 2000, 256 p. (In Russian).
2. European standards. EN 10080 Steel for reinforcement of concrete. – Weldable ribbed reinforcing steel B500 – Technical delivery conditions for bars, coils and welded. CEN. 1995, 43 p.
3. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. State Standard 5781-82. Hot-rolled steel for reinforcement of ferroconcrete structures. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
5. Odesskiy P.D., Kulik V.D. Steels with high resistance to extreme influences. Moscow: Internet Engineering, 2008, 239 p. (In Russian).
6. State Standard 9454-78. Metals. Method for testing the impact strength at low, room and high temperature. Moscow: Publishing house of standards, 1994. (In Russian).
7. European standards. EN 10045-1. Metallic materials. Charpy impact test. Part 1: Test method. 1990.
8. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81\*. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
9. Mulin N.M. Rod reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat Publ., 1975, 233 p. (In Russian).
10. Nikolaou J., Papadimitriou G.D. Impact toughness of reinforcing steels produced by (i) the Tempcore process and (ii) microalloying with vanadium. *International Journal of Impact Engineering*. 2005, vol. 31, no. 8, pp. 1065–1080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2004.05.005>.

**Информация об авторах /  
Information about the authors**

**Вячеслав Дмитриевич Терин**, канд. техн. наук, руководитель центра новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: terin@bk.ru

**Vyacheslav D. Terin**, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Center for New Types of Reinforcement, Welding and Reinforcement of Reinforced Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow  
e-mail: terin@bk.ru

**Дмитрий Евгеньевич Климов**, старший научный сотрудник центра новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: dimochka\_k@mail.ru

**Dmitry E. Klimov**, Senior Researcher of the Center for New Types of Reinforcement, Welding and Reinforcement of Reinforced Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: dimochka\_k@mail.ru

**Александр Сергеевич Супрунюк**<sup>✉</sup>, младший научный сотрудник центра новых видов арматуры, сварки и армирования железобетона, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: SuprunyukAS@yandex.ru

**Alexander S. Suprunyuk**<sup>✉</sup>, Junior Researcher of the Center for New Types of Reinforcement, Welding and Reinforcement of Reinforced Concrete, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Postgraduate Student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

e-mail: SuprunyukAS@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author