

**СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА**

doi: 10.51639/2713-0576\_2022\_2\_3\_9

УДК 624.07

ГРНТИ 67.03.03

ВАК 05.23.01

**Вопрос особого предельного состояния железобетонных конструкций  
Актуальное состояние проблемы**

\* Черепанов А. В., Чаганов А. Б.

*Вятский государственный университет, 610000, Киров, ул.Московская д.36.*email: \* [stud147121@vyatsu.ru](mailto:stud147121@vyatsu.ru), [sk\\_chaganov@vyatsu.ru](mailto:sk_chaganov@vyatsu.ru)

В настоящий момент, в связи с развитием системы предупреждения чрезвычайных ситуаций, вопрос особых воздействий на здания и сооружения становится все более актуальным. Наиважнейшим вопросом, в данном направлении остается особое предельное состояние конструкций в целом и железобетона частности (как доминирующего строительного материала). Цель статьи заключалась в обобщении существующих публикаций и анализе степени разработанности проблемы на настоящий момент времени. В результате были выявлены факторы, оказывающих влияние на особое предельное состояние железобетона и определены наиболее перспективные направления для дальнейших исследований. В целом, несмотря на длительный срок существования, вопрос особого предельного состояния железобетона, к настоящему времени, остается малоизученным.

*Ключевые слова:* особое предельное состояние, особые воздействия, железобетон, деформативность, критерии особого предельного состояния.

В настоящее время на территории Российской Федерации, для расчетов строительных конструкций нормативными документами закреплён метод предельных состояний, который позволяет обеспечить их надёжную эксплуатацию в течение расчетного срока при соблюдении проектных условий. Однако, в связи с введением новых сводов правил, а также пересмотру карт районирования сейсмичности все более актуальным становится учет нестандартных условий эксплуатации. В первую очередь это защита от прогрессирующего обрушения, сейсмические воздействия, а также другие воздействия, характеризующиеся как «особые» в СП 296.1325800 «Здания и сооружения. Особые воздействия» [3].

В нормативной литературе Российской Федерации определение особого предельного состояния содержится в ГОСТ 27751-2014: «Особые предельные состояния - состояния, возникающие при особых воздействиях и ситуациях и превышение которых приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями». При этом в ГОСТ 27751-2014 не содержится четких критериев для его определения [2].

Основополагающими работами по вопросу особого предельного состояния для железобетона являются работы [4, 5]. Они показывают, что железобетонные конструкции обладают существенным резервом по сопротивлению внешним воздействиям. В данных исследованиях проводились испытания фрагментов плитных конструкций и железобетонных балок, опертых по однопролетной схеме с жестким защемлением на опорах. Показано, что процесс сопротивления конструкций не прекращается после достижения максимума несущей способности. Происходит постепенное снижение несущей способности за счет разрушения бетона в сжатой зоне сечения и уменьшения высоты сечения. При этом даже после полного

разрушения бетона, при выполнении ряда условий, у конструкции остается возможность функционирования как висячей системы [7].

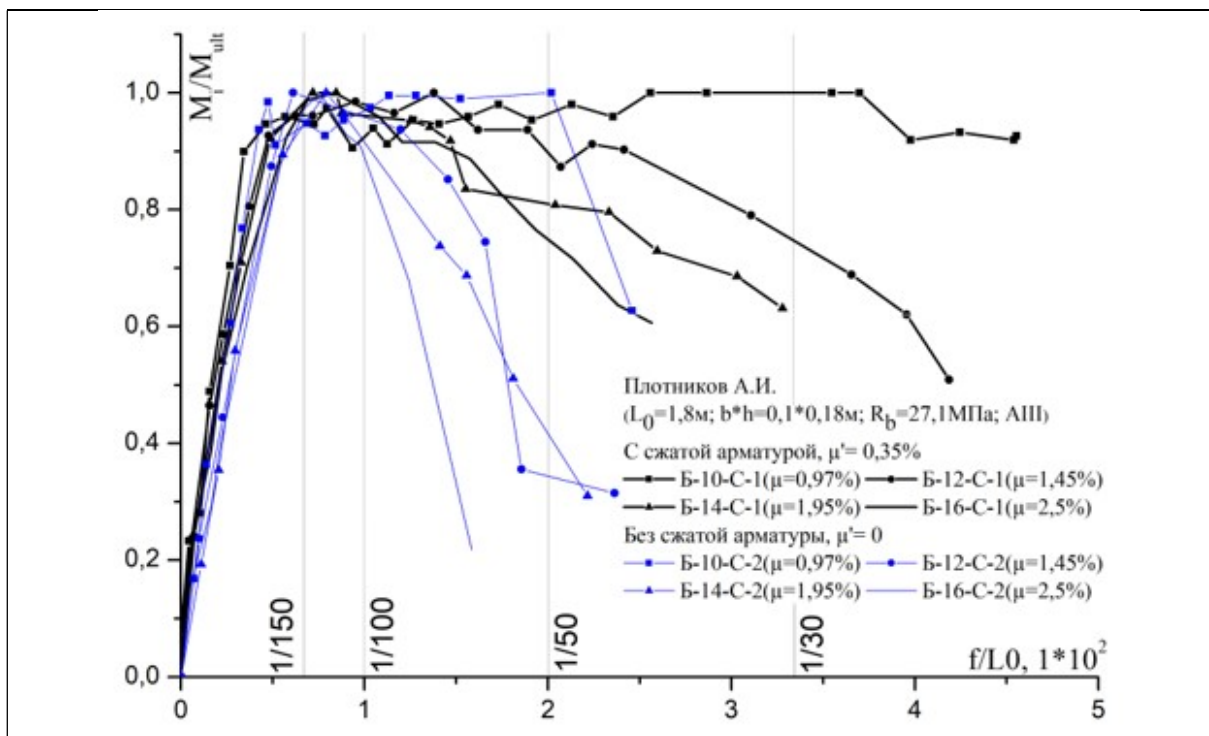


Рис. 1. Графики деформирования изгибаемых элементов с различным количеством продольного армирования по материалам Плотникова А. И.

На момент написания этой работы результаты исследований [4–7], закреплены в СП 385.1325800. Он определяет особое предельное состояние как состояние конструкций после превышения их несущей способности и деформативности, при котором они не соответствуют функциональным требованиям, а дальнейшее увеличение нагрузок и (или) воздействий приводит к их разрушению [1].

Так же СП 385.1325800 определяет в качестве критериев особого предельного состояния для железобетона ограничение деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры [1].

Вместе с тем ряд последних работ по теме особого предельного состояния пока не нашел отражения в нормативной литературе.

Так, например, в работе «Determination of the criteria of deformation in a special limiting state» показано, что на стадии снижения несущей способности (разгрузке) изгибаемого элемента, критерии особого предельного состояния, записанные в действующей редакции СП 385.1325800.2018, представлены с некоторым запасом и позволяют выполнять требования безопасности, согласно действующих нормативных документов [8].

Эта же статья обращает внимание на другие факторы:

- 1) Наличие продольной сжатой арматуры. Согласно экспериментальному исследованию «Динамика упругопластических железобетонных балок при действии интенсивных кратковременных нагрузок аварийного характера» влияние продольной арматуры в сжатой зоне нормального сечения сказывается в повышении способности сопротивляться нагрузке после начала разрушения сжатой зоны бетона и деформативности перед превращением балочной конструкции в механизм, чему соответствуют значения прогибов  $1/40$  от пролёта [9].
- 2) Использование термоупрочнённой арматуры. При использовании термически упрочнённой растянутой арматуры класса AIV деформативность конструкции в пластической стадии работы уменьшаются до 30 % в сравнении с аналогичными конструкциями.

ми с обычной арматурой класса АІV [10]. Это означает, что для данных конструкций критерий особого предельного состояния из СП 385.1325800 может являться неактуальным.

- 3) Предварительное напряжение растянутой арматуры конструкций, помимо общего повышения их жесткости и трещиностойкости, также приводит к снижению максимальных значений прогибов до 15 % в сравнении с аналогами без предварительного напряжения [11].
- 4) Скорость нагружения. При увеличении скорости нагружения наблюдается увеличение способности восприятия динамической нагрузки на 15 % [12].

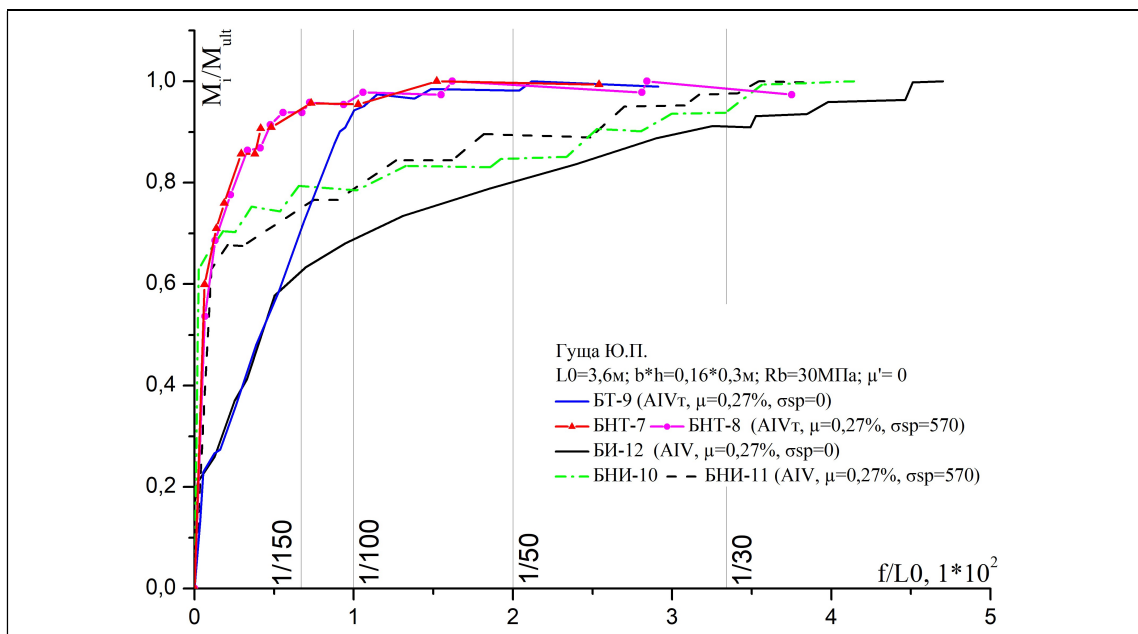


Рис. 2. Графики деформирования изгибаемых элементов с обычной и термически упрочненной растянутой арматурой класса АІV, с преднапряжением и без него. По материалам Гуца Ю. П.

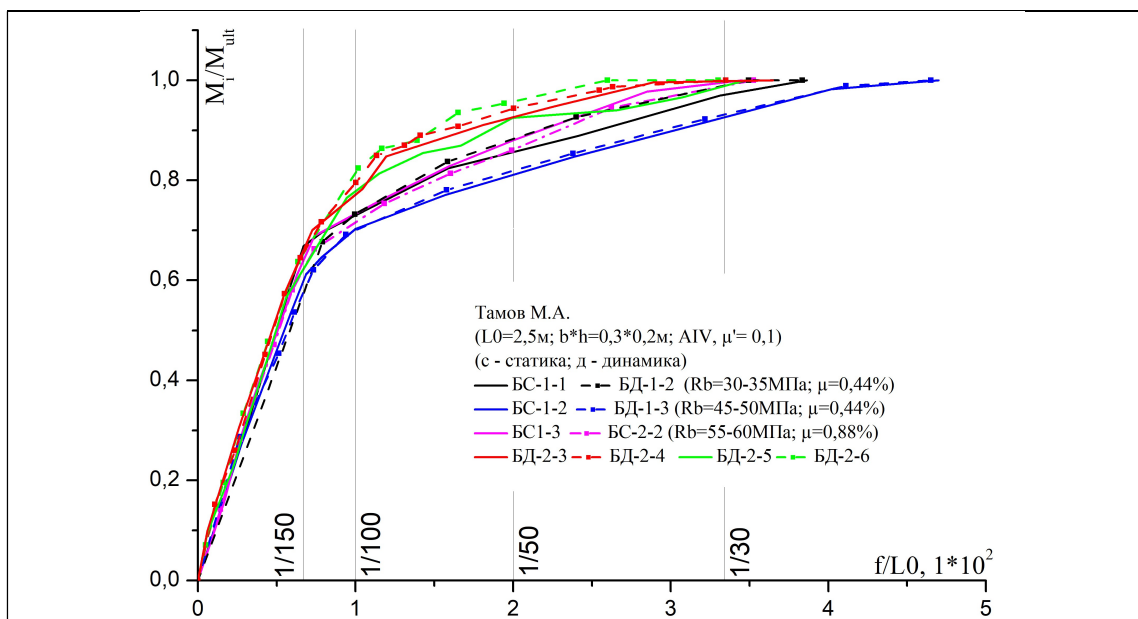
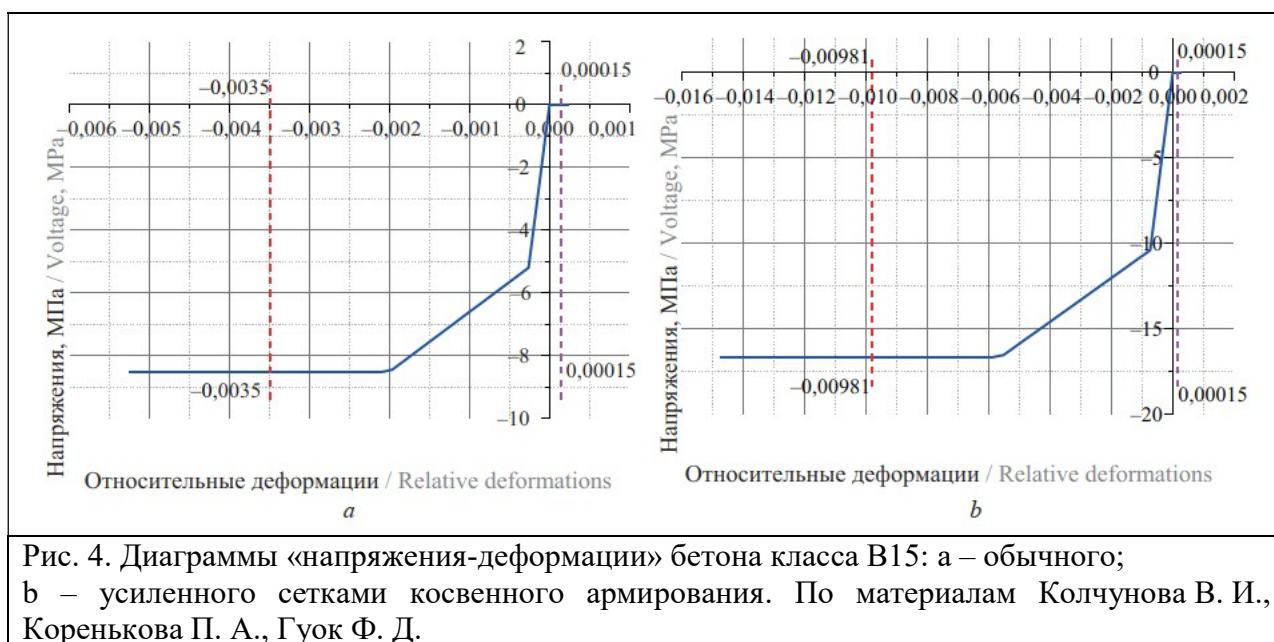


Рис. 3. Графики деформирования изгибаемых элементов с различной прочностью бетона и количеством продольного армирования, при статическом и кратковременном динамическом нагружениях по материалам Тамова М. А.



В работе «Деформирование бетона при статико-динамическом нагружении железобетонных конструкций» автор обращает внимание на специфический характер нагружения конструкций при некоторых особых воздействиях. А именно, статико-динамическое догружение, обусловленное тем, что конструкция, подвергающаяся особым воздействиям, предварительно находится в нормальном эксплуатационном режиме. Автор приводит экспериментальные данные зависимости напряжённо-деформированного состояния бетона при статико-динамическом догружении от уровня предварительного статического нагружения [12].

Таким образом, можно сделать вывод, что не смотря на более чем тридцатилетнюю историю развития теории особого предельного состояния железобетона и наличие определенных успехов в этой области, до сих пор остаются факторы, не изученные в достаточной степени, либо не введенные в нормативную литературу.

Обращая внимание на распространенность различных видов конструкций и характер восприятия ими особых воздействий, можно сделать вывод, что наиболее актуальными с точки зрения экономического эффекта, будут являться работы, уточняющие поведение балочных элементов, плит покрытий и перекрытий в режиме особого предельного состояния. Так же не освещенным остается вопрос работы сборных железобетонных конструкций с учетом податливости их узлов. Проведение дополнительных исследований в этих направлениях и закрепление их результатов в нормативной документации позволит существенно снизить материальные затраты на защиту зданий и сооружений от особых воздействий.

### Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

**Список литературы**

1. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения: с Изменениями № 2 : принят 05.07.2018 ; действ. с 06.01.2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/551394640>(дата обращения 07.02.2022).
2. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: принят 14.11.2014: действ. с 1.07.2015. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115736>(дата обращения 07.02.2022).
3. СП 296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия: с Изменением № 1 : принят 3.08.2017 ; действ. с 4.02.2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/555600219>(дата обращения 07.02.2022).
4. Попов Н. Н., Плотников А. И., Белобородов И. К. Работа изгибаемых элементов при снижении несущей способности // Бетон и железобетон. 1986 №6. С.19-20.
5. Попов Н. Н., Трекин Н. Н. Деформирование неразрезных изгибаемых элементов в стадии разрушения // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях. Сумы, 1994. С. 37-39.
6. Колчунов В. И., Кореньков П. А., Гуок Ф. Д. Особое предельное состояние в железобетонных каркасах с узлами, усиленными косвенным армированием при аварийных воздействиях // Вестник МГСУ 2021 №11. С. 1462-1472.
7. Трекин Н. Н., Кодыш Э. Н. Особое предельное состояние железобетонных конструкций и его нормирование // Промышленное и гражданское строительство. 2020 № 5. С. 4-9.
8. Nikolay N. Trekin, Emil N. Kodysh, Sergey D. Shmakov, Ivan A. Terekhov, Konstantin L. Kudyakov, DETERMINATION OF THE CRITERIA OF DEFORMATION IN A SPECIAL LIMITING STATE// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol. 17, P. 108–116 URL: <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-108-116>(published: 24.03.2017).
9. Плотников А. И. Динамика упругопластических железобетонных балок при действии интенсивных кратковременных нагрузок аварийного характера : диссертация кандидата техн. наук : М.: 1994. 375 с.
10. Гуца Ю. П. Исследование изгибаемых железобетонных элементов при работе стержневой арматуры в упруго-пластической стадии : диссертация доктора техн. наук М.: 1967. 401 с.
11. Тамов М. А. Исследование железобетонных изгибаемых конструкций, армированных сталями повышенной прочности, при кратковременном динамическом нагружении : диссертация кандидата техн. наук : М.: 1981. 150 с.
12. Медянкин М. Д. Деформирование бетона при статико-динамическом нагружении железобетонных конструкций : диссертация кандидата техн. наук : М.: 2021. 163 с.

**The question of the special limit state of reinforced concrete structures  
Current status of the problem**

Cherepanov A. V., Chaganov A. B.

*Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov, 610000*

At the moment, in connection with the development of the emergency prevention system, the issue of special impacts on buildings and structures is becoming increasingly relevant. The most important issue in this direction remains the special limiting state of structures in general and reinforced concrete in particular (as the dominant building material). The purpose of the article was

to summarize existing publications and analyze the degree of development of the problem at the present time. As a result, factors influencing the special limiting state of reinforced concrete were identified and the most promising areas for further research were identified. In general, despite the long period of existence, the issue of the special limiting state of reinforced concrete, to date, remains poorly understood.

*Keywords:* special limit state, special effects, reinforced concrete, deformability, criteria for a special limit state.