

УДК: 624.042.1

DOI [10.37153/2618-9283-2021-3-61-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-61-72)

Теоретические и экспериментальные исследования

Оценка устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе принципа уровня допускаемых повреждений

Митрович Божидар¹

¹НИУ «Московский государственный строительный университет». Москва, Российская Федерация

Аннотация: В работе представлена методика расчетной оценки устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе учета упруго-пластических деформаций конструкций с ограничением величины пластической фазы деформирования методом применения коэффициента редукции нагрузочного фактора.

Исследованиями на основе принятой величины относительной деформации, соответствующей образованию допустимой зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил, как основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций для режима отказа вертикальной несущей конструкции, установлены величины коэффициентов допускаемых повреждений, которые отличаются относительной постоянностью величины с увеличением пролета.

Принятые деформационные критерии особого предельного состояния корректно отражают условия формирования допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем при прогрессирующем обрушении.

Полученный в рамках выполненных исследований коэффициент редукции (K_1) представляет собой важнейшую деформационную характеристику особого предельного состояния монолитных железобетонных несущих систем зданий и сооружений для аварийной расчетной ситуации, связанной с отказом локального конструктивного элемента.

Ключевые слова: несущие конструкции, напряженно-деформированное состояние, расчетный прогноз, расчетная модель, прогрессирующее обрушение.

Для цитирования: Митрович Б. Оценка устойчивости монолитных железобетонных несущих систем к прогрессирующему обрушению на основе принципа уровня допускаемых повреждений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 3. С. 61-72.

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-61-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-61-72)

Theoretical and Experimental Studies

Assessment of the resistance of monolithic reinforced concrete bearing systems to progressive collapse based on the principle of the level of permissible damage

Mitrovic Bozidar¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

@ Б.Митрович, 2021

Abstract. The paper presents a method of using the reduction factor to ensure the stability of monolithic reinforced concrete bearing structures to progressive collapse.

Studies have established the values of the reduction factor based on the accepted value of the relative deformation corresponding to the formation of an admissible zone of "destruction" of the support section of the overlap under the action of transverse forces, as the main criterion for assessing the stress-strain state of monolithic reinforced concrete structures for the failure mode of a vertical supporting structure.

The accepted deformation criteria for a special limiting state correctly reflect the conditions for the formation of an admissible amount of damage to elements of bearing reinforced concrete systems.

The reduction factor (K_1) obtained in the framework of the research performed is the most important deformation characteristic of the special limiting state of monolithic reinforced concrete bearing systems of buildings and structures for an emergency design situation associated with the failure of a local structural element.

Keywords: Load-carrying structures, stress-and-strain state, design prediction, calculation model, progressive collapse

For citation: Mitrovic B. Assessment of the resistance of monolithic reinforced concrete bearing systems to progressive collapse based on the principle of the level of permissible damage. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety.* 2021, no. 3, pp. 61-72. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2021-3-61-72](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2021-3-61-72)

Несмотря на то, что прогрессирующее обрушение является достаточно редким явлением, это событие может вызвать серьезные экономические и социальные последствия. В связи с этим вопрос предотвращения прогрессирующего обрушения является одной из важнейших задач строительной науки.

Ключевыми вопросами в проблеме устойчивости к прогрессирующему обрушению являются корректные методы расчетного анализа несущих систем в режиме отказа локального конструктивного элемента и характеристики особого предельного состояния.

Для железобетонных несущих систем в целом и для монолитных конструкций в частности недостаточно изучены механизмы разрушения элементов несущей системы в ситуации отказа локальной конструкции, что оставляет открытым вопрос определения ключевых (критериальных) конструктивных элементов и узлов, работа которых в условиях отказа локальной конструкции определяет переход системы в целом в предельное состояние.

Исследования по определению и научному обоснованию характеристик особых предельных состояний для режима отказа локальной конструкции не в полной мере учитывают особенности аварийной расчетной ситуации, связанной с отказом локальной конструкции. Для железобетонных несущих систем существующие и отраженные в нормативных документах РФ характеристики особого предельного состояния для указанной аварийной расчетной ситуации не могут быть признаны в качестве обобщенных параметров, позволяющих их использование для всех видов расчетного анализа. Так, применение рекомендуемой нормами в качестве характеристики особого предельного состояния предельной величины относительной деформации сжатого бетона, не позволяет выполнить ряд важнейших расчетных проверок, таких как расчет наклонных сечений железобетонных конструкций и расчет на продавливание. Существующее состояние нормирования особого предельного состояния железобетонных конструкций для аварийной расчетной ситуации, связанной с отказом локального элемента несущей системы, требует совершенствования с определением и научным обоснованием обобщенных характеристик особого

предельного состояния железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения.

Для других видов аварийной расчетной ситуации, например, для случая сейсмических воздействий, в качестве обобщенной характеристики предельных состояний конструкций и несущих систем в целом используются деформационные критерии, что позволяет выполнить практически все виды расчетного анализа. Такой подход имеет надежное научное обоснование для большинства видов конструкций, включая железобетонные, и широко используется в нормах многих стран.

Устойчивость несущих систем к отказам, рассматриваемая при прогрессирующем обрушении, представляет собой частное от обобщенной трактовки вопроса живучести, как способности системы полностью или частично сохранять свое функциональное назначение при наличии аварийных воздействий. В данном направлении есть исследования отечественных ученых, результаты которых подтверждают возможность такого обобщения [1, 2].

Поскольку явление прогрессирующего обрушения относится к группе аварийных расчетных ситуаций с особыми предельными состояниями конструкций, в рамках которых допускается развитие пластических деформаций (т.е. формирование локальных повреждений в элементах несущей системы), необходимо установить предельную величину объема таких пластических деформаций (повреждений). Аналогичный подход реализован в нормах сейсмостойкого строительства [3] для случая сейсмических воздействий, при которых критерии особого предельного состояния сформулированы методом нормирования «коэффициентов допускаемых повреждений», как обобщенной характеристики особого предельного состояния для условий сейсмических воздействий. Подобный метод применен и в [4], в котором установлены величины «коэффициента поведения», аналогичные коэффициенту допускаемых повреждений норм РФ. Представляется вполне обоснованным применить в оценке устойчивости несущих систем к прогрессирующему обрушению хорошо зарекомендовавший себя метод оценки сейсмостойкости, базирующийся на основе деформационных характеристик несущей системы.

Для того, чтобы можно было использовать величину коэффициента допускаемых повреждений в качестве характеристики предельного состояния конструкции необходимо (в соответствии с [5, 6, 7]) определить предельно допустимую величину коэффициента пластичности μ , соответствующую уровню повреждений, после получения которого конструкция подлежит восстановлению. Необходимость установления таких граничных величин очевидна – коэффициент пластичности μ определяется, как правило, на основе максимальных величин деформационного фактора (перемещение, кривизна и т.п.), соответствующего моменту разрушения исследуемой конструкции. Однако, уровень деформаций, соответствующий разрушению, не может быть принят в качестве допустимой характеристики – это противоречит принципам строительства, устойчивого к прогрессирующему обрушению [8].

С учетом приведенного выше в работах Н.Н. Попова и Б.С. Расторгуева [9, 10] для наиболее часто применяемых в настоящее время видов несущих конструкций (в том числе железобетонные конструкции) различного типа предложен и обоснован метод оценки допускаемого уровня повреждений на основе коэффициента пластичности:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{tot}}{\varepsilon_{el}}, \quad (1)$$

где ε_{tot} и ε_{el} полные и упругие относительные деформации конструкции, соответственно.

При этом отмечается, что для величины полных относительных деформаций должны быть установлены обоснованные ограничения. Например, для ряда анизотропных материалов принято обоснованным:

$$\varepsilon_{\max} = 0.85\varepsilon_{\text{tot}}, \quad (2)$$

Следует подчеркнуть, что коэффициент пластичности определяется на базе хорошо поддающихся контролю деформационных параметров, что обеспечивает приемлемый уровень точности.

Принимая во внимание принятые ограничения на предельную величину относительных деформаций (2), обеспечивающих сохранность поврежденной конструкции и, следовательно, устойчивость к прогрессирующему обрушению, предельная величина коэффициентов пластичности для железобетона в условиях двухосного напряженного состояния равна:

$$\mu_{\text{lim}} = \frac{0.85 \varepsilon_{\text{tot}}}{\varepsilon_{\text{el}}} = 0.85\varepsilon_{\text{max}} \quad (3)$$

Тогда, с учетом обоснований, приведенных в [8], формулу для определения коэффициента допускаемых повреждений возможно представить в окончательном виде:

$$K_1 = \frac{1}{2\mu_{\text{lim}} - 1} \quad (4)$$

Таким образом, представляется вполне обоснованным использовать деформационные характеристики работы конструкций для определения критериев предельных состояний и для условий иных аварийных расчетных ситуаций, включая случай отказа локальной несущей конструкции.

Для защиты несущих систем от прогрессирующего обрушения предлагаются различные подходы, включая метод повышения несущей способности элементов конструкций сверх необходимого по результатам упругого расчета, и подход, связанный с резервированием элементов несущей системы.

Для наиболее распространенных видов несущих систем – многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из монолитного железобетона, предложен и обоснован (см., например, [11]) метод защиты от прогрессирующего обрушения, основанный на устройстве этажей повышенной жесткости (аутригерные этажи), которые обеспечивают изменение схемы работы вертикальной несущей конструкции при отказе нижерасположенного элемента – такая конструкция «подвешивается» к аутригерному этажу.

Результаты исследования влияния аутригерных конструкций на работу железобетонных систем в условиях отказа локального элемента демонстрируют существенное влияние аутригерных конструкций на схему деформирования несущей системы в целом и участков, примыкающих к зоне отказа. Применение аутригерных конструкций позволяет уменьшить прогибы плиты и изгибающие моменты в плитах перекрытий над локацией отказа. Применение аутригерных конструкций формирует условия локализации последствий аварийного воздействия в пределах зоны, в которой произошел отказ несущего элемента.

В рамках исследования механизмов разрушений основных конструктивных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения обосновано [12], что ключевыми элементами и узлами для оценки предельных состояний в условиях отказа локальных элементов являются монолитные железобетонные перекрытия, а именно приопорные зоны перекрытия, рассматриваемые как конструкцион-

ные узлы, в которых установлены наибольшие изменения силовых факторов – изгибающих моментов (M_x , M_y) и поперечных сил (Q_x , Q_y). Таким образом, в качестве ключевого (критериального) конструктивного элемента железобетонной системы в условиях аварийного режима при отказе локальной конструкции может рассматриваться конструкционный узел приопорной зоны перекрытия.

Исследованиями установлено, что в качестве основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций для режима отказа вертикальной несущей конструкции может быть принята величина относительной деформации перекрытия над отказавшей вертикальной несущей конструкцией, соответствующая образованию зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил. Указанный деформационный параметр корректно описывает состояние «перед разрушением» конструктивного узла монолитной железобетонной несущей системы, в котором в первоочередном порядке реализуются признаки перехода в предельное состояние (см. рис. 1, работы [13, 14, 15, 16]). На основе величины относительной деформации перекрытия над отказавшей вертикальной несущей конструкцией может быть рассчитан коэффициент пластичности μ и соответствующий коэффициент допускаемых повреждений.

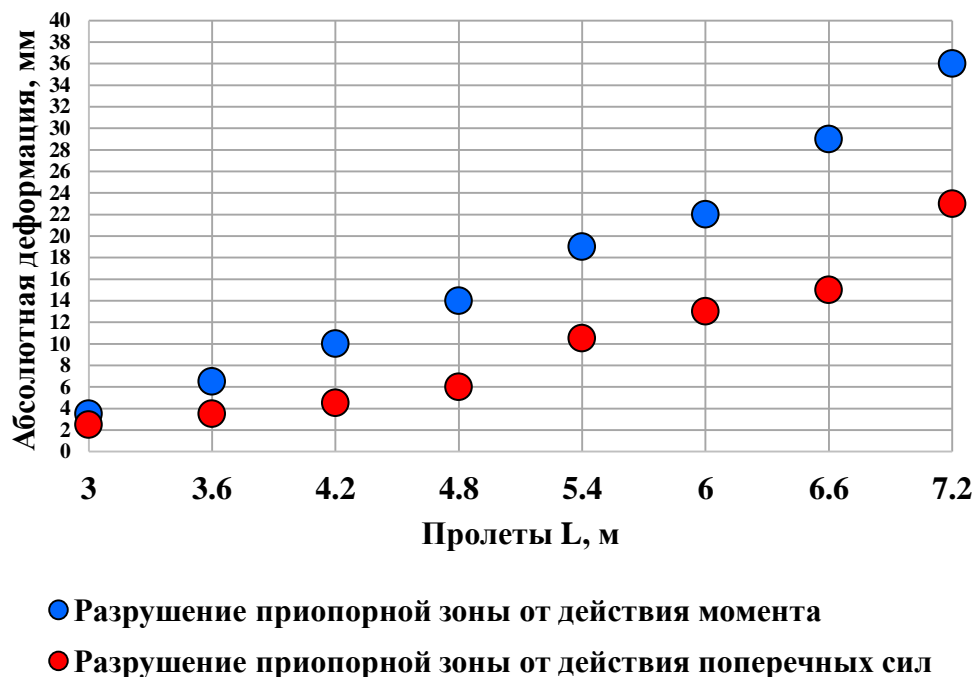


Рисунок 1 – Величины «предельных» смещений для различных критериев формирования разрушения приопорной зоны перекрытия (отказ средней колонны)

Figure 1 – Values of "limit" displacements for various criteria for the formation of destruction of the support overlap zone (middle column failure)

С учетом деградации свойств элементов перекрытия (см. работу [17]) определены величины деформационных характеристик монолитных железобетонных несущих систем в состоянии «перед разрушением» ключевых (критериальных) конструкций (узлов) для дальнейшего их применения в качестве основы для расчета характеристик пластичности (см. рис. 2).

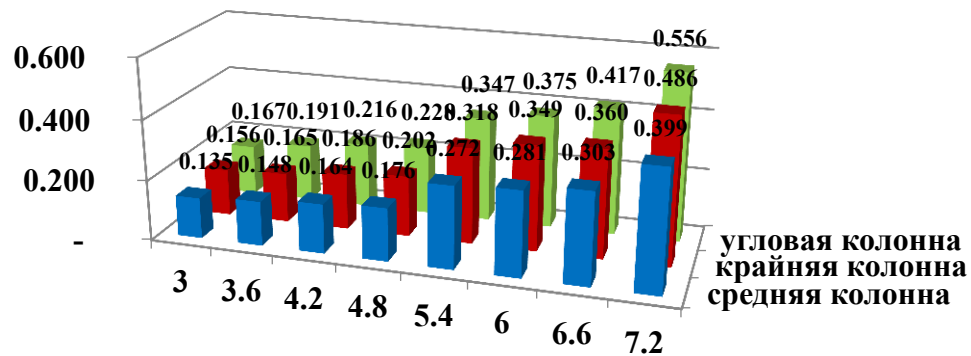


Рисунок 2 – Величины «предельных» смещений в относительных величинах для различных пролетов/шагов опорных конструкций перекрытия.

Figure 2 – Relative values of "limiting" displacements for various spans / steps of floor support structures

Установленные характеристики предельной пластичности (μ_{lim}) и соответствующие им характеристики уровня допустимых повреждений (K_I) представляют собой, по существу, характеристики особого предельного состояния монолитных железобетонных конструкций для режима прогрессирующего обрушения (см. рис. 3 и рис. 4).

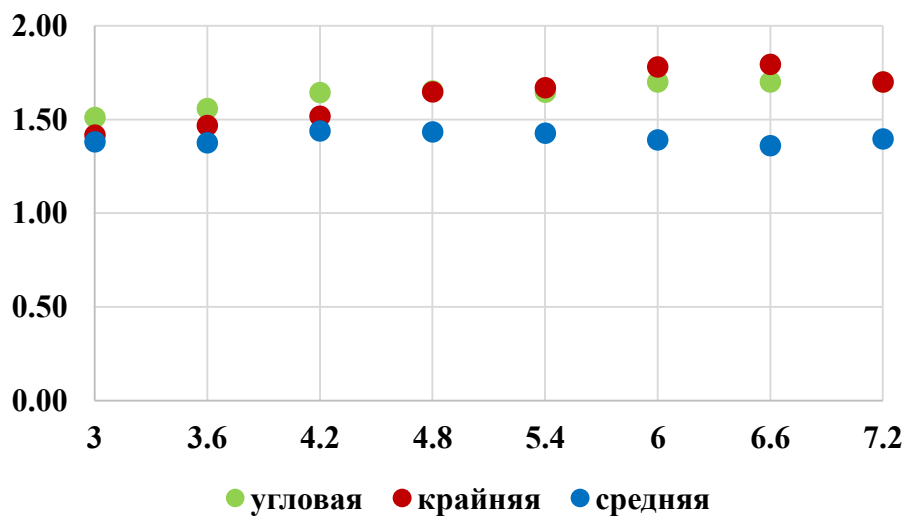


Рисунок 3 – Коэффициенты пластичности μ_{lim} для случаев «отказа» угловой, крайней и средней колонн для различных пролетов/шагов опорных конструкций перекрытия

Figure 3 – Plasticity coefficients μ_{lim} for cases of "failure" of the corner, exterior and interior columns for different spans / steps of the floor support structures

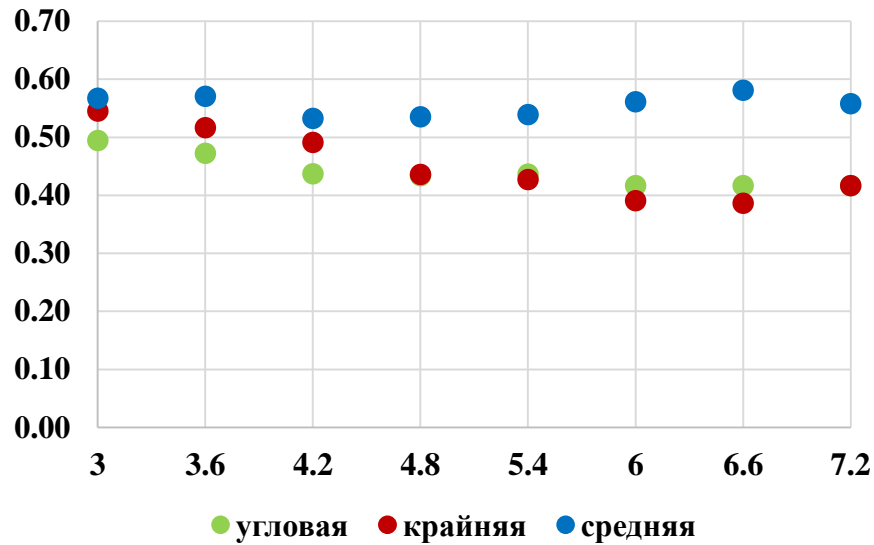


Рисунок 4 – Коэффициенты допускаемых повреждений K_I для случаев «отказа» угловой, крайней и средней колонн для различных пролетов/шагов опорных конструкций перекрытия

Figure 4 – Coefficients of permissible damage K_I (reduction factor) for cases of "failure" of the corner, exterior and interior columns for various spans / steps of the floor support structures

Полученные в результате исследований деформационные критерии особого предельного состояния корректно отражают условия формирования допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем при прогрессирующем обрушении. В качестве консервативной величины коэффициента допускаемых повреждений принято значение: $K_I = 0.50$.

Разработана инженерная методика использования коэффициента редукиции для расчетной оценки устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению.

Методика использования коэффициента редукиции для обеспечения устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению

Наличие значений характеристики уровня допускаемых повреждений – коэффициента редукиции (аналог коэффициента K_I сейсмостойких конструкций) для режима прогрессирующего обрушения при отказе вертикальной несущей конструкции, позволяет выполнять требования Государственного стандарта [18], т.е. выполнять корректную оценку эффективности аутригерных этажей, работающих в качестве «...специального мероприятия, исключающего прогрессирующее обрушение сооружения или его части».

Методика использования коэффициента редукиции, условно именуемого K_I , для обеспечения устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению при обеспечении допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем состоит из нескольких этапов (см. рис. 5).



Рисунок 5 – Блок-схема методики использования коэффициента редукиции для обеспечения устойчивости монолитных железобетонных несущих конструкций к прогрессирующему обрушению

Figure 5 – Block diagram of the method of using the reduction factor to ensure the resistance of monolithic reinforced concrete load-bearing structures to progressive collapse

На первом этапе проводится стандартная процедура прочностного расчета несущей системы для режима отказа вертикальной несущей конструкции в рамках линейной постановки. По результатам полученных нагрузочных эффектов, то есть напряжений и деформаций, может быть выполнен подбор варианта аутригерной конструкции, который не будет допускать пластическую работу критериальных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения, что говорит о недостаточной эффективности использования потенциала аутригерных этажей.

Для использования максимального потенциала аутригерных этажей и получения наивысшей оценки их эффективности необходимо в рамках второго этапа осознанно перейти к редуцированию нагрузочных эффектов, полученных на первом этапе. Такое редуцирование осуществляется путем умножения нагрузочных эффектов на коэффициент редукиции.

На основе полученных значений редуцированных нагрузочных эффектов в рамках третьего этапа выполняется подбор такого варианта армирования железобетонных конструкций (аутригерной конструкции), который будет допускать пластическую работу и формирование допустимого объема повреждений критериальных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения. Такой вариант железобетонных конструкций (аутригерной конструкции) получается путем подбора параметров сечения и армирования аутригера, то есть подбора момента инерции поперечного сечения аутригерной конструкции, соответствующего редуцированному значению нагрузочных эффектов, полученных на втором этапе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование подходов, хорошо зарекомендовавших себя в сейсмостойком строительстве, как для условий с видом воздействия, относящегося к особым, основанных на допущении определенного объема повреждений, в результате чего реализуется работа не-

сущих конструкций в пластической фазе, подразумевает необходимость определения характеристик особого предельного состояния, корректно отражающих допустимый объем пластической фазы деформирования.

В рамках исследования механизмов разрушений основных конструктивных элементов монолитных железобетонных несущих систем в режиме прогрессирующего обрушения обосновано, что ключевыми (критериальными) элементами и узлами монолитных железобетонных систем для оценки особых предельных состояний в условиях отказа локальных элементов являются монолитные железобетонные перекрытия, а именно приопорные зоны перекрытий.

Для установленных критериальных конструкций и узлов проведены численные исследования величин критериальных параметров, входящих в характеристику предельного состояния.

В качестве основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций перекрытий для режима отказа вертикальной несущей конструкции принята величина относительной деформации, соответствующая образованию допустимой зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил, т.е. в условиях приопорной зоны в состоянии, «предшествующем разрушению».

Проведенные исследования обосновывают возможность использования деформационных критериев для оценки напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных конструкций, включая пластическую фазу деформирования, в условиях отказа вертикального элемента несущей системы. Установленные характеристики предельной пластичности и соответствующие им коэффициенты допускаемых повреждений представляют собой, по существу, характеристики особых предельных состояний монолитных железобетонных конструкций для режима прогрессирующего обрушения.

Исследованиями на основе принятой величины относительной деформации, соответствующей образованию допустимой зоны «разрушения» приопорного участка перекрытия при действии поперечных сил, как основного критерия для оценки НДС монолитных железобетонных конструкций для режима отказа вертикальной несущей конструкции, установлены величины коэффициентов допускаемых повреждений, которые отличаются относительной постоянностью величины с увеличением пролета.

Принятые деформационные критерии особого предельного состояния корректно отражают условия формирования допустимого объема повреждений элементов несущих железобетонных систем при прогрессирующем обрушении. В качестве рекомендованной к использованию величины коэффициента допускаемых повреждений принята величина $K_I = 0,50$.

Полученные результаты верифицированы методом расчета, выполненного в физически нелинейной постановке [17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Килимник Л.Ш. К разработке деформационной теории сейсмостойкости сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. 1988. №1. С. 48-53.
2. Кореньков П.А., Жигна В.В. Анализ опасности прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного каркаса 22-этажного торгово-офисного центра в г. Севастополе // Строительство и техногенная безопасность. 2012. № 44. С. 14-22.
3. Свод правил СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81*. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 117 с.
4. EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings. Brussels: CEN, 2005. 102 p.

5. Жарницкий, В.И., Развитие теории сейсмостойкости железобетонных конструкций [Текст] / В.И. Жарницкий, А.В. Забегаев // Сборник докладов 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия». М., 2001. Том 2. С. 655-658.
6. Banon H. Biggs Seismic Damage in Reinforced Concrete frame / H. Banon, M. John. Journal of Structural Deviation. 1981, Vol. 107, no. ST9, September, pp. 1713-1729.
7. Banon H. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures / H. Banon, D. Veneziano. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1982, Vol. 10, pp. 179- 193.
8. Кабанцев О.В. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений К1 сейсмостойких конструкций / О.В. Кабанцев, Э.С. Усеинов, Ш. Шарипов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. Томск. 2016. №2. С. 117-129.
9. Попов Н.Н. Динамический расчет железобетонных конструкций [Текст] / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев. М.: СИ. 1974. 207 с.
10. Попов Н.Н. Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки. М.: Высшая школа. 1992. 319 с.
11. Кабанцев О.В. Некоторые вопросы нормирования расчетов железобетонных конструкций высотных зданий // Межрегиональная общественная организация «Содействие развитию и применению пространственных конструкций в строительстве». Тез. докладов научной сессии. Москва: 2009. С. 36-39.
12. Домарова Е.В. Расчетно-конструктивные методы защиты от прогрессирующего разрушения железобетонных монолитных каркасных зданий // Вестник ИрГТУ. 2015. №10(105). С. 123-129.
13. Кабанцев О.В., Митрович Б. К выбору характеристик предельных состояний монолитных железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения // Технология текстильной промышленности. 2018. № 6 (378). С. 234-241.
14. Митрович Б. Обоснование характеристик особого предельного состояния монолитных железобетонных несущих систем для режима прогрессирующего обрушения // VII Международный симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений (APCSCE 2018). С. 140.
15. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic // MATEC Web Conf., Volume 251, 2018, p. 8.
16. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 456, conference 1, p. 7.
17. Митрович Б. Верификация методики использования коэффициента редукции при расчете монолитных железобетонных систем на устойчивость к прогрессирующему обрушению // Строительство и реконструкция. 2021. № 3(95). С. 68-75. DOI 10.33979/2073-7416-2021-95-3-68-75.
18. Государственный стандарт ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

References

1. Kilimnik L.Sh. K razrabotke deformatsionnoi teorii seismostoikosti sooruzhenii. Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii. 1988, no.1, pp. 48-53. (In Russian)
2. Koren'kov P.A., Zhigna V.V. Analiz opasnosti progressiruiushchego obrusheniia monolitnogo zhelezobetonnoho karkasa 22-etazhnogo torgovo-ofisnogo tsentra v g. Sevastopole. Stroitel'stvo i tekhnogennaia bezopasnost'. 2012, no. 44. pp. 14-22. (In Russian)

3. Svod pravil SP 14.13330.2018. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. SNiP II-7-81*. M.: Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khoziaistva Rossiiskoi Federatsii. 2018. 117 p.
4. EN 1998-1. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings. Brussels: CEN, 2005. 102 p.
5. Zharnitskii V.I. Razvitie teorii seismostoikosti zhelezobetonnykh konstruksii [Tekst] / V.I. Zharnitskii, A.V. Zabegaev. Sbornik dokladov 1-i Vserossiiskoi konferentsii po problemam betona i zhelezobetona "Beton na rubezhe tret'ego tysiacheletia", tom 2. M., 2001, pp. 655-658. (In Russian)
6. Banon H. Biggs Seismic Damage in Reinforced Concrete frame / H. Banon, M. John. Journal of Structural Deviation. 1981, Vol. 107, no. ST9, September, pp. 1713-1729.
7. Banon H. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures / H. Banon, D. Veneziano. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1982, Vol. 10, pp. 179-193.
8. Kabantsev O.V. O metodike opredeleniia koeffitsienta dopuskaemykh povrezhdenii K1 seismostoikikh konstruksii / O.V. Kabantsev, E.S. Useinov, Sh. Sharipov. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Tomsk, 2016, no.2, pp. 117-129. (In Russian)
9. Popov N.N. Dinamicheskii raschet zhelezobetonnykh konstruksii [Tekst] / N.N. Popov, B.S. Rastorguev. M.: SI, 1974. 207 p. (In Russian)
10. Popov N.N., Rastorguev B.S., Zabegaev A.V. Raschet konstruksii na dinamicheskie i spetsial'nye nagruzki. M.: Vysshiaia shkola, 1992, 319 p. (In Russian)
11. Kabantsev O.V. Nekotorye voprosy normirovaniia raschetov zhelezobetonnykh konstruksii vysotnykh zdanii. Mezhhregional'naia obshchestvennaia organizatsiia "Sodeistvie razvitiu i primeneniiu prostranstvennykh konstruksii v stroitel'stve". Tez. Dokladov nauchnoi sessii. Moskva: 2009, pp. 36-39. (In Russian)
12. Domarova E.V. Raschetno-konstruktivnye metody zashchity ot progressiruiushchego razrusheniia zhelezobetonnykh monolitnykh karkasnykh zdanii. Vestnik IrGTU. 2015, no.10 (105), pp. 123-129. (In Russian)
13. Kabantsev O.V., Mitrovich B. K vyboru kharakteristik predel'nykh sostoianii monolitnykh zhelezobetonnykh nesushchikh system dlia rezhima progressiruiushchego obrusheniia [Tekst] / 3) O.V. Kabantsev, B. Mitrovich. Tekhnologiiia tekstil'noi promyshlennosti. 2018, no. 6 (378), pp. 234-241. (In Russian)
14. Mitrovic B. Obosnovanie kharakteristik osobogo predel'nogo sostoianiiia monolitnykh zhelezobetonnykh nesushchikh system dlia rezhima progressiruiushchego obrusheniia [Tekst] / B. Mitrovich. VII Mezhdunarodnyi simpozium "Aktual'nye problem komp'iuternogo modelirovaniia konstruksii i sooruzhenii (APCSCE2018), p. 140. (In Russian)
15. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic. MATEC Web Conf., Volume 251, 2018, p. 8. (In Russian)
16. Kabantsev O.V., Mitrovic B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode / O.V. Kabantsev, B. Mitrovic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 456, conference 1, p. 7.
17. Mitrovic B. Verification of the method of application of the reduction coefficient in the calculation of monolithic reinforced concrete systems to resist progressive collapse/ B. Mitrovic. Stroitel'stvo i rekonstruksiiia. 2021, no. 3(95), pp. 68-75. DOI 10.33979/2073-7416-2021-95-3-68-75.
18. Gosudarstvennyi standart GOST 27751-2014 Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksii i osnovanii. Osnovnye polozheniia.

Информация об авторе/Information about author

Митрович Божидар
НИУ МГСУ, аспирант
Тел.: +7 (915) 113-13-68
E-mail: bozidarm@bk.ru

Mitrovic Bozidar
Moscow State University of Civil Engineering, postgraduate student
Phone: +7 (915) 113-13-68
E-mail: bozidarm@bk.ru

Поступила в редакцию / Received – 10.06.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised – 17.06.2021

Принята к публикации / Accepted – 18.06.2021