

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ДОГРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ПРИ ГИПОТЕТИЧЕСКОМ УДАЛЕНИИ ОДНОЙ ИЗ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИИ

ФЕДОРОВА Н.В.¹, ИЛЮЩЕНКО Т.А.², МЕДЯНКИН М.Д.¹, ИНСАФУТДИНОВ А.Р.¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

***Аннотация.** Приведены аналитические зависимости для определения параметров диаграммы статико-динамического деформирования железобетонных элементов конструктивных систем при гипотетическом удалении из системы одной из несущих конструкций и с учетом трещинообразования в этих элементах. Зависимость «момент-кривизна» для изгибаемых обычных и преднапряженных, а также внецентренно сжатых конструкций приняты билинейными, причем нелинейные участки деформирования для обычных и преднапряженных конструкций приняты параллельными. С использованием полученных зависимостей приведен алгоритм определения динамической кривизны в железобетонных элементах при рассматриваемом режиме нагружения. Даны результаты численного анализа параметров диаграммы статико-динамического деформирования на примере двухпролетной, трехэтажной рамы, ригели которой армированы двойной преднапряженной арматурой.*

***Ключевые слова:** статико-динамическое деформирование, кривизна, диаграммный метод, прогрессирующее обрушение.*

FEATURES OF DYNAMIC LOADS OF RC ELEMENTS OF STRUCTURAL SYSTEMS IN THE HYPOTHETICAL REMOVAL OF ONE OF THE BEARING STRUCTURES AND CRACKS FORMATION

FEDOROVA N.V.¹, IL'YUSHCHENKO T.A.², MEDYANKIN M.D.¹, INSAFUTDINOV A.R.¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²South-West State University, Kursk, Russia

***Abstract.** Analytical dependencies for determining of the parameters of the static-dynamic deformation diagram of RC elements of structural systems due to crack formation are given in the article. The moment-curvature dependence is assumed to be bilinear for bending non-tensioned and prestressed, as well as eccentrically loaded structures. Nonlinear deformation sections are assumed to be parallel for non-tensioned and prestressed structures. An algorithm for determining of the dynamic curvature in RC elements for the considered loading condition with the use of the dependencies is given. The results of the numerical analysis of the parameters of the static-dynamic deformation diagram are given using of a two-span three-story frame the beam of which are reinforced with two-way prestressed reinforcement.*

***Keywords:** static-dynamic deformation, curvature, Pushover analysis, progressive collapse.*

Введение.

Проблеме защиты зданий и сооружений в последние два-три десятилетия, как в России [1-6], так и в ряде зарубежных стран [7-18], стали уделять больше внимания. Можно отметить, что выполнено значительное число теоретических исследований, проведены отдельные экспериментальные исследования конструкций и конструктивных систем из различных материалов. В некоторых странах подготовлены и введены в практику проектирования нормативные документы нового поколения, например, [19-22]. В то же время ряд задач, связан-

ных с этой проблемой, остаются нерешенными. К одной из таких задач относится задача определения динамических догрузений в элементах конструктивных систем из железобетона при гипотетическом удалении из системы одной из несущих конструкций. Физическая сущность этой задачи в постановочном плане была рассмотрена в работе [23]. В развитие этих исследований в настоящей статье, с использованием диаграммного метода, на энергетической основе, без привлечения аппарата динамики сооружений, рассмотрено определение динамических догрузений в железобетонных элементах стержневой конструктивной системы. При этом рассмотрены две особенности структурной перестройки таких систем: 1) гипотетическое удаление одной из несущих конструкций; 2) образование трещин в элементах конструктивной системы.

Диаграммный метод определения динамических догрузений.

В случае особого воздействия на балочную или рамно-стержневую систему из железобетона – гипотетического удаления из нее одной из несущих конструкций, в оставшихся элементах конструктивной системы возникают динамические догрузки, вызванные внезапной структурной перестройкой такой системы и изменением ее статической определимости как минимум на единицу. На рисунке 1 представлены первичная (а) и вторичная (б) расчетные схемы до и после удаления центральной стойки рамы.

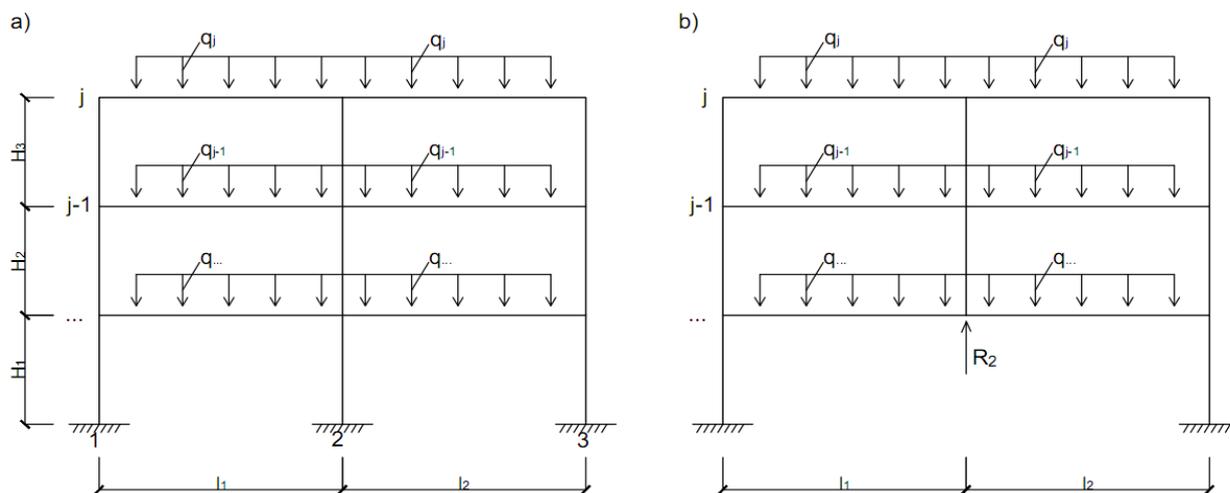


Рисунок 1 - Первичная (а) и вторичная (б) расчетная схема рамно-стержневой конструктивной системы при расчете на особое предельное состояние

В общем случае будем полагать, что ригели рамы выполнены предварительно напряженными с двойным по высоте сечения армированием. Установка предварительной арматуры в двух уровнях рассматривается как один из способов защиты конструктивной системы от прогрессирующего обрушения.

Следуя [24] кривизна в произвольном поперечном сечении ригеля рамы, например, сечение 1-1 (Рисунок 2) может быть определена из упрощенной зависимости «момент-кривизна» (Рисунок 3):

$$\varkappa = (M - M_1)/B_1, \quad (1)$$

где M_1 - отрезок, отсекаемый на оси моментов диаграммы « $M - \varkappa$ », при нагрузке выше нагрузки трещинообразования ($M > M_{cr}$). В напряженном элементе M_1 обозначено через $\overline{M_1}$

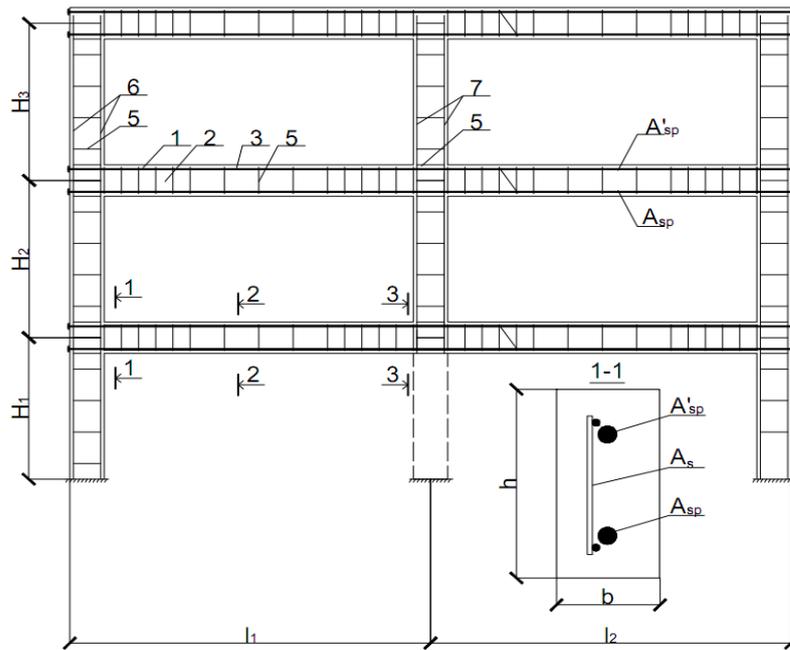


Рисунок 2 - Схема армирования рамно-стержневой системы с преднапряженными ригелями

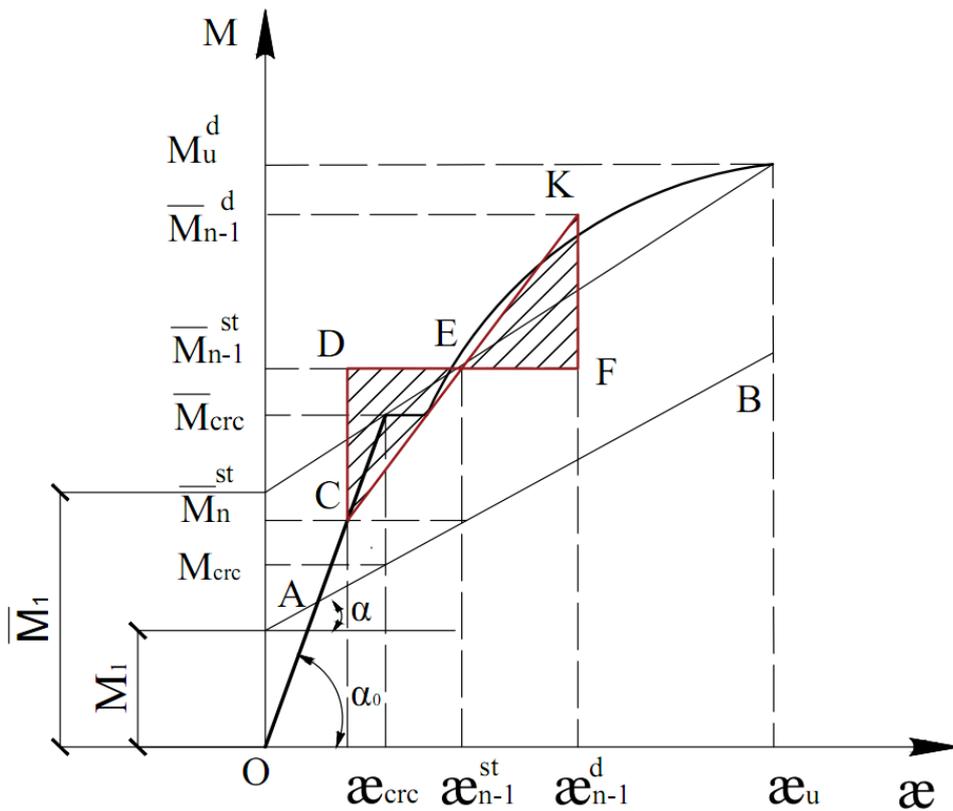


Рисунок 3 - Диаграмма «момент кривизна» статико-динамическом деформировании железобетонного сечения рамно-стержневой системы

Параметр. B_1 характеризует жесткость железобетонного элемента, физический смысл которого на диаграмме $B_1 = tg \alpha$.

Зависимость «М- α » установлена аппроксимацией кривых, полученных многовариантными численными исследованиями этой зависимости по формулам норм и пособий [25]. Один из вариантов такой аппроксимации показан в работе [24]. Согласно этим исследованиям диаграммы для определения кривизн изгибаемых обычных и предварительно напряженных, а также внецентренно сжатых конструкций могут быть приняты параллельными (см. рисунок 3). Это допущение позволяет принять в формуле (1) для B_1 единое математическое выражение, полученное из известных зависимостей для кривизны ненапряженных железобетонных элементов.

Значение жесткости железобетонного элемента после образования трещин определяется из выражения:

$$B_1 = tg \alpha = \varphi_1 E_s A_s h_0^2, \quad (2)$$

где

$$\varphi_1 = \frac{z/h_0}{1,25 + \frac{\psi_b \cdot \mu \cdot \alpha}{v \cdot (\varphi_f + \xi)}}, \quad (3)$$

Как уже отмечалось значение M_1 определяется отрезком, отсекаемым продолжением прямой А - Б на диаграмме «момент-кривизна» до пересечения с осью моментов (см. рисунок 3):

$$M_1 = \varphi_2 b h^2 R_{bt,ser}, \quad (4)$$

где

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_{1s} \cdot [0,292 + 0,75 \cdot (\gamma_1 + 2 \cdot \mu_1 \cdot \alpha) + 0,075 \cdot (\gamma'_1 + 2 \cdot \mu'_1 \cdot \alpha)]}{1,25 + \frac{\psi_b \cdot \mu \cdot \alpha}{v \cdot (\varphi_f + \xi)}}, \quad (5)$$

Коэффициенты φ_1 и φ_2 зависят от характеристик железобетонного элемента (армирования μ и формы сечения γ_1 и γ'_1 , но практически не зависят от нагрузки, и их вычисления представлены в пособиях, например, в [25] в табличной форме от указанных двух параметров. Остальные обозначения, входящие в (3) и (5) традиционны для теории железобетона и соответствуют обозначениям, принятым в [24,26].

Для определения M_1 в преднапряженных и внецентренно сжатых железобетонных элементах используем обозначения, принятые в общей формуле определения кривизны железобетонного элемента, и по аналогии с $M_{срс}$ момент M_1 представим в виде:

$$M_1 = \varphi_2 b h^2 R_{bt,ser} + \varphi_3 N_{tot} (y_{so} + r), \quad (6)$$

где y_{so} - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до центра тяжести сечения арматуры S ;

r - расстояние от этого же центра тяжести до ядровой точки;

N_{tot} - равнодействующая продольной силы N и усилия предварительного обжатия P .

При использовании такой зависимости формула (1) принимает следующий вид:

$$\alpha = \frac{M_s - \varphi_2 b h^2 R_{bt,ser} + \varphi_3 N_{tot} (y_{so} + r)}{\varphi_1 E_s A_s h_0^2} \quad (7)$$

где M_s - момент от всех сил и усилия предварительного обжатия P относительно центра тяжести площади сечения арматуры S .

Определение динамических кривизн может быть выполнено на энергетической основе [3] используя полученную описанным способом диаграмму «М- α ». При динамическом де-

формировании сечения железобетонного элемента условие постоянства полной энергии на рассматриваемом линейном участке деформирования определяется из условия равенства площадей заштрихованных треугольников CDF и EKF (см. рисунок 3):

$$\bar{M}_{n-1}^d = 2\bar{M}_{n-1}^{st} + \bar{M}_n^{st} \quad (8)$$

Уровень потенциальной энергии в рассматриваемом догружаемом элементе после структурной перестройки в конструктивной системе при принятых диаграммах деформирования элементов «М-а» определяется выражением:

$$\Phi(\alpha)d\alpha = \int_0^\alpha M(\alpha)d\alpha = \int_0^\alpha (M_1 + \alpha B_1)d\alpha = \frac{B_1}{2}\alpha^2 + M_1\alpha. \quad (9)$$

Условие постоянства полной энергии для рассматриваемого сечения, приводит к выражению (см. рисунок 3):

$$\Phi(\alpha_{n-1}^d) - \Phi(\alpha_{n-1}^{st}) = \bar{M}_{n-1}^{st}(\alpha_{n-1}^{st} - \alpha_n^{st}). \quad (10)$$

Подставляя (9) в (10) получим квадратное уравнение относительно искомого неизвестного α_{n-1}^d , из решения которого получим:

$$\alpha_{n-1}^d = \frac{\bar{M}_{n-1}^{st} - M_1 + \sqrt{(\bar{M}_{n-1}^{st} - M_1)^2 + \bar{B}_1^2 \cdot (\alpha_n^{st})^2 - 2\bar{B}_1^2 \cdot \alpha_n^{st} \cdot (\bar{M}_{n-1}^{st} - M_1)}}{\bar{B}_1^2}. \quad (11)$$

В железобетонных конструкциях на жесткость B_1 на участке динамического деформирования С-К существенное значение оказывает уровень напряженного состояния в рассматриваемом элементе конструктивной системы при ее статическом нагружении. Если при статическом нагружении конструктивной системы в рассматриваемом конструктивном элементе образуются трещины, то жесткость B_1 может быть вычислена по формуле (2) с увеличением полученного значения на величину коэффициента динамичности ϕ . Коэффициент ϕ зависит от скорости динамического догружения рассматриваемого сечения и определяется по зависимостям, предложенным в работе [3]. Если при статическом нагружении конструктивной системы в рассматриваемом конструктивном элементе трещины не образуются, то жесткость принимается по значению начальной жесткости этого элемента B_0 . При этом, при определении напряжений в рабочей арматуре элемента на участке динамического деформирования, помимо приращений в арматуре от структурной перестройки конструктивной системы, вызванной удалением одной из конструкций, рассчитываемых по значению M_{n-1}^d , следует учитывать приращения напряжений в арматуре, вызванных образованием трещин в процессе динамического деформирования.

Численные результаты

Количественный анализ диаграммы статико-динамического деформирования преднапряженной железобетонной статически неопределимой рамно-стержневой конструктивной системы выполнен для сечения I-I (см. рисунок 2). Рама выполнена из бетона класса В40. Преднапряженная арматура класса А500, диаметром 8 мм установлена симметрично в верхней и нижней зонах сечения ригеля $A_{sp} = A'_{sp}$. Сечение ригелей принято 100x50 мм, пролет-1050мм. Высота каждого этажа рамы-450мм.

При назначенном начальном контролируемом напряжении $\sigma_{sp} = 571$ МПа, первые потери преднапряжения составили 143 Мпа, вторые потери 40 Мпа, контролируемое преднапряжение с учетом всех потерь $\sigma_{sp2} = 349,5$ МПа ($\gamma = 0,9$).

По результатам вычислений для рассматриваемого сечения получены следующие значения усилий и деформаций: $M_{crc} = 2,36$ кНм, соответствующая ему кривизна $\alpha_{crc} = 4,2 \cdot 10^{-5} (\frac{1}{мм})$. При этом напряжение в арматуре составило $\sigma_{sp} = 547$ МПа. Значение момента в исходной n -раз статически-неопределимой конструкции рамы, при заданной эксплуатац-

онной нагрузке $M_n^{st} = 2.5 \text{ кНм}$, а соответствующая ему кривизна $\alpha_n^{st} = 4.4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{\text{мм}}\right)$. При этом напряжение в арматуре $\sigma_{sp} = 567 \text{ МПа}$.

Значение момента в этом же сечении рамы с удаленной центральной колонной составило $M_{n-1}^{st} = 9.32 \text{ кНм}$, соответственно $\alpha_{n-1}^{st} = 18.4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{\text{мм}}\right)$ и $\sigma_{sp} = 2480 \text{ МПа}$. Из этого следует, что после удаления центральной стойки предельные деформации в арматуре, вычисленные по предельной кривизне, превышают предельно допустимые деформации $\alpha_{ult} = 5.8 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{\text{мм}}\right)$ для рассматриваемого сечения. Следовательно, эксплуатационной нагрузке и динамическом догружении конструктивной системы вызванном удалением центральной стойки, произойдет разрушение приопорного сечения рамы. Таким образом, для защиты рассматриваемой рамы от прогрессирующего обрушения следует увеличить высоту сечения ригелей первого этажа.

Вывод

Приведенные аналитические зависимости для определения параметров диаграммы статико-динамического деформирования предварительно напряженных железобетонных элементов конструктивных систем при гипотетическом удалении одной из несущих конструкций могут быть использованы для расчета защиты рамно-стержневых систем зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Travush, V.I., Fedorova, N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 81(5). Pp. 73–80. doi:10.18720/MCE.81.8.
2. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Клюева Н.В. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. – М. : АСВ, 2004. – 216 с.
3. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Клюева Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. – М. : АСВ, 2004. – 208 с.
4. Шапиро Г.И., Гасанов А.А. Численное решение задачи устойчивости панельного здания против прогрессирующего обрушения // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016/ Vol. 12 Iss. 2. Pp. 158-166.
5. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. №6. С. 8-13.
6. Алмазов, В.О., Кхой Као Зуй. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. – М.: АСВ, 2013. – 128 с.
7. Yu J, Tan KH. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages. *Engineering Structures* 2013;55:90–106.
8. Lu X, Lin K, Li Y, Guan H, Ren P, Zhou Y. Experimental investigation of RC beamslab substructures against progressive collapse subjected to an edge-column-removal scenario. *Engineering Structures* 2017;149:91–103.
9. Ren P, Li Y, Lu X, Guan H, Zhou Y. Experimental investigation of progressive collapse resistance of one-way reinforced concrete beam-slab substructures under a middle-column-removal scenario. *Engineering Structures* 2016;118:28–40.
10. Kai Q, Li B. Dynamic performance of RC beam-column substructures under the scenario of the loss of a corner column - experimental results. *Engineering Structures* 2012;42:154–67.
11. Elsanadedy HM, Almusallam TH, Al-Salloum YA, Abbas H. Investigation of precast RC beam-column assemblies under column loss scenario. *Constr Build Mat* 2017;142:552–71.
12. Liu M. «Energy-based pull-down analysis for assessing the progressive collapse potential of steel frame buildings», *Engineering Structures* 123 (2016) 372–378.
13. Liu C, Tan KH, Fung TC. Investigations of nonlinear dynamic performance of top-and-seat with web angle connections subjected to sudden columns removal. *Eng Struct* 2015;99:449–61.
14. Tsai M. «Application of the work-energy principle to assess the risetime effect on the dynamic response amplification under column loss». PLSE 2015, Australia, (1338-1346). 9-11 December 2015. DOI:10.14264/uql.2016.685
15. Arash Naji, Fereidoon Irani «Progressive collapse analysis of steel frames: Simplified procedure and explicit expression for dynamic increase factor», *International Journal of Steel Structures*, December 2012, Volume 12, Issue 4, pp 537–549.

16. Saffari H., Javad Mashhadi J. «Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures» *Engineering Failure Analysis* 84 (2018) 300–310 <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.11.011>
17. Chang Liu, Tat Ching Fung, Kang Hai Tan. «Investigations of nonlinear dynamic performance of top-and-seat with web angle connections subjected to sudden column removal». Volume 99, 15 September 2015, Pages 449-461
18. Alogla, KD, Weekes L., Augustus Nelson «A new mitigation scheme to resist progressive collapse of RC structures». <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.084>
19. UFC 4-023-03 (Including Change 3, 2016) «Unified facilities criteria. Design of buildings to resist progressive collapse»
20. GSA «Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance», October 2016
21. EN 1991-1-7-2009 General Actions – Accidental Actions или ТКП EN 1991-1-7-2009 (02250)
22. СП 385.1325800. 2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2018. С. 19.
23. Федорова Н.В., Халина Т.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. №5. С. 32-36.
24. Вероужский Ю.В., Колчунов Вл.И., Барабаш М.С., Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. – К.:НАУ, 2006. –808с.
25. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). М.:ЦНИИПромзданий, 1989. – 192с..
26. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещинообразованию и деформативности. – М.: АСВ, 2011. - 352с.

REFERENCES

1. Travush, V.I., Fedorova, N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. 81(5). Pp. 73–80. doi:10.18720/MCE.81.8.
2. Geniev G.A., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri zaproektnykh vozdeystviyah [Strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond-design impacts]. . – М. : ASV, 2004. – 216 s..
3. Kolchunov V.I., Andrososva N.B., Klyueva N.V., Buhtiyarova A.S. ZHivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnykh vozdeystviyah [Survivability of buildings and structures during beyond design impacts]. . – М. : ASV, 2004. – 208 s.
4. SHapiro G.I., Gasanov A.A. CHislennoe reshenie zadachi ustojchivosti panel'nogo zdaniya protiv progressiruyushchego obrusheniya [Numerical study of the problem of the stability of the panel building against progressive collapse] // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016/ Vol. 12 Iss. 2. Pp. 158-166.
5. Kodysh E.N., Trekin N.N., CHesnokov D.A. Zashchita mnogoetazhnykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya [Protection of multi-storey buildings from progressive collapse] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. №6. S. 8-13.
6. Almazov, V.O., Kkhozj Kao Zuj. Dinamika progressiruyushchego razrusheniya monolitnykh mnogoetazhnykh karkasov [Dynamics of progressive collapse of monolithic multistory frames]. –М.:ASV, 2013. –128 s.
7. Yu J, Tan KH. Experimental and numerical investigation on progressive collapse resistance of reinforced concrete beam column sub-assemblages. *Engineering Structures* 2013;55:90–106.
8. Lu X, Lin K, Li Y, Guan H, Ren P, Zhou Y. Experimental investigation of RC beamslab substructures against progressive collapse subjected to an edge-column-removal scenario. *Engineering Structures* 2017;149:91–103.
9. Ren P, Li Y, Lu X, Guan H, Zhou Y. Experimental investigation of progressive collapse resistance of one-way reinforced concrete beam–slab substructures under a middle-column-removal scenario. *Engineering Structures* 2016;118:28–40.
10. Kai Q, Li B. Dynamic performance of RC beam-column substructures under the scenario of the loss of a corner column - experimental results. *Engineering Structures* 2012;42:154–67.
11. Elsanadedy HM, Almusallam TH, Al-Salloum YA, Abbas H. Investigation of precast RC beam-column assemblies under column loss scenario. *Constr Build Mat* 2017;142:552–71.
12. Liu M. «Energy-based pulldown analysis for assessing the progressive collapse potential of steel frame buildings», *Engineering Structures* 123 (2016) 372–378.
13. Liu C, Tan KH, Fung TC. Investigations of nonlinear dynamic performance of top-and-seat with web angle connections subjected to sudden columns removal. *Engineering Structures* 2015;99:449–61.
14. Tsai M. «Application of the work-energy principle to assess the risetime effect on the dynamic response amplification under column loss». PLSE 2015, Australia, (1338-1346). 9-11 December 2015. DOI:10.14264/uql.2016.685

15. Arash Naji, Fereidoon Irani «Progressive collapse analysis of steel frames: Simplified procedure and explicit expression for dynamic increase factor», *International Journal of Steel Structures*, December 2012, Volume 12, Issue 4, pp 537–549.
16. Saffari H., Javad Mashhadi J. «Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures» *Engineering Failure Analysis* 84 (2018) 300–310 <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.11.011>
17. Chang Liu, Tat Ching Fung, Kang Hai Tan. «Investigations of nonlinear dynamic performance of top-and-seat with web angle connections subjected to sudden column removal». Volume 99, 15 September 2015, Pages 449-461
18. Alogla, KD, Weekes L., Augustus Nelson «A new mitigation scheme to resist progressive collapse of RC structures». <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.084>
19. UFC 4-023-03 (Including Change 3, 2016) «Unified facilities criteria. Design of buildings to resist progressive collapse»
20. GSA «Alternate path analysis and design guidelines for progressive collapse resistance», October 2016
21. EN 1991-1-7-2009 General Actions – Accidental Actions или ТКП EN 1991-1-7-2009 (02250)
22. SP 385.1325800. 2018. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozheniya [Protection of buildings and structures from progressive collapse. Design rules. The main provisions.]. M.: Standartinform, 2018. S. 19.
23. Fedorova N.V., Halina T.A. Issledovanie dinamicheskikh dogruzenij v zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistemah pri vnezapnykh strukturnykh perestrojkah [Investigation of dynamic loadings RS structural systems with sudden structural reorganizations] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. №5. S. 32-36.
24. Veryuzhskij YU.V., Kolchunov VI.I., Barabash M.S., Genzerskij YU.V. Komp'yuternye tekhnologii proektirovaniya zhelezobetonnykh konstrukcij [Computer technology design of RC structures]. – K.:NAU, 2006. -808s.
25. Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukcij iz tyazhelyh i legkih betonov bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury [Handbook for the design of concrete and RC structures of heavy and light concrete without prestressing the reinforcement] (k SNiP 2.03.01-84). M.:CNIIPromzdaniy, 1989. – 192s..
26. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Raschet zhelezobetonnykh konstrukcij iz tyazhelogo betona po prochnosti, treshchinoobrazovaniyu i deformativnosti [Calculation of RC structures made of heavy concrete for strength, cracking and deformability]. – M.: ASV, 2011. - 352s.

Информация об авторах:

Федорова Наталья Витальевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г.Москва, Россия
докт. техн. наук, проф., кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: fenavit@mail.ru

Ильющенко Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г Курск, Россия,
Аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений,
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Медянкин Михаил Дмитриевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г.Москва, Россия
Аспирант.

Инсафутдинов Айрат Рашидович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г.Москва, Россия
Бакалавр.

Information about authors:

Fedorova Natalia Vital'evna

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
doctor in tech. sc., prof, associated prof. of the dep. reinforced concrete and stone structures,
E-mail: fenavit@mail.ru

Il'yushchenko Tat'yana Aleksandrovna

South-West State University, Kursk, Russia,
Post-graduate student of the Department of unique buildings and structures,
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Medyankin Mihail Dmitrievich

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
Post-graduate student.

Insafutdinov Ajrat Rashidovich

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
Bachelor.