



УДК 624.3

DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.3-12

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Анализ устойчивости железобетонной колонны при горизонтальных ударных воздействиях

А.В. Алексейцев^{1*}

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация
*aalexw@mail.ru

Ключевые слова: устойчивость, железобетонные конструкции, численное моделирование, ударные воздействия, деформации, колонны.

История статьи

Поступила в редакцию: 25.01.2023

Доработана: 10.02.2023

Принята к публикации: 17.02.2023

Для цитирования

Алексейцев А.В. Анализ устойчивости колонны при горизонтальных ударных воздействиях // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 3–12.

Аннотация. Рассмотрены подходы к оценке устойчивости железобетонных колонн при возникновении горизонтального аварийного удара. Для этого выполнялось конечно-элементное моделирование системы в объемной постановке, расчет по деформированной схеме в рамках нелинейного статического анализа и динамического переходного процесса. При построении модели использовались гексаэдрические элементы, работающие в соответствии с моделью Друкера-Прагера для бетона, а для моделирования арматуры пространственные стержни, деформируемые по модели Прандтля. Ударное воздействие рассматривалось в виде кратковременного импульса постоянной интенсивности. Построены графики зависимости для критической силы для различных сценариев аварийных воздействий на колонну. Результаты исследований могут быть использованы для оценки сопротивляемости железобетонных конструкций прогрессирующему разрушению при их вариантном проектировании и оптимизации.

Stability of the RC Column under Horizontal Impacts

Anatoly V. Alekseytsev^{1*}

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation
*aalexw@mail.ru

Keywords: stability, reinforced concrete structures, numerical simulation, impact, deformations, columns.

Abstract. Approaches to assessment of stability of reinforced concrete columns in case of horizontal emergency impact have been investigated. For this purpose, finite-element modeling of the system in spatial formulation, calculation according to the deformed scheme in the scope of nonlinear static analysis and dynamic transient process have been implemented. When constructing the model, the hexahedral elements were used, working in accordance with the Drucker-Prager model for concrete, and the rebars deformed according to the Prandtl model were used to modelling the reinforcement.

Анатолий Викторович Алексейцев, доктор технических наук, доцент, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; eLIBRARY SPIN-код: 3035-5571, Scopus: 57191530761, Researcher ID: I-3663-2017, ORCID: 0000-0002-4765-5819, E-mail: aalexw@mail.ru.

Anatoly V. Alekseytsev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, eLIBRARY SPIN-код: 3035-5571, Scopus: 57191530761, Researcher ID: I-3663-2017, ORCID: 0000-0002-4765-5819, E-mail: aalexw@mail.ru.

© Алексейцев А.В., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Article history

Received: 25.01.2023

Revised: 10.02.2023

Accepted: 17.02.2023

For citation

Alekseytsev A.V. Stability of the RC Column under Horizontal Impacts. *Reinforced Concrete Structures*. 2023;2(2): 3–12.

The impact action was considered as a short-term pulse of constant intensity. Dependence diagrams for critical force on various scenarios of emergency impacts on the column have been obtained. Results of researches can be used for an estimation of resistance to the progressive collapse of reinforced concrete structures at their variants design and optimization.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность вопросов исследований напряженно деформированного состояния железобетонных конструкций продиктована, прежде всего, современными социально-экономическими условиями. В связи с этим анализ динамики ключевых несущих элементов в конструктивных системах выходит на первый план. При этом важно рассматривать комплексные повреждения в результате комбинированных воздействий. Одним из распространенных типов аварийной ситуации являются удары, вызывающие локальные механические повреждения. Вместе с тем дислокация ударного воздействия на конструкцию может быть неопределенной. В данной статье рассмотрен один из видов такого воздействия – горизонтальный удар, который испытывает колонна, находящаяся в условиях статического нагружения эксплуатационной нагрузкой. В ключе этой проблемы исследователями рассматриваются аспекты устойчивости сжатых колонн и ударных воздействий на конструкции [1-3], моделирование механических повреждений [4-6]. Исследуются как отдельные железобетонные конструкции, так и конструктивные системы в виде каркасов зданий. Условия многовариантных сценариев локальных повреждений требует разработки методик, связанных с оценкой рисков, при аварийном воздействии [7-9]. Поэтому исследование и развитие расчетных моделей для железобетонных конструкций, включая аварийные, в т.ч. комбинированные воздействия, является актуальным для теории и практики повышения механической безопасности зданий и их устойчивости к прогрессирующему обрушению [10-12].

МЕТОД

Для внецентренно сжатой железобетонной колонны рассматривались следующие постановки задачи:

- оценка устойчивости объемной модели в соответствии с подходом Эйлера;
- статический анализ по деформированной схеме, когда учитывается нелинейная работа бетона и арматуры, а также полная геометрическая нелинейность;
- динамический анализ устойчивости с учетом конструкционного демпфирования колебаний, физической и геометрической нелинейности.

Расчетная схема исследуемой конструкции показана на рисунке 1. Рассматривалось приложение горизонтальной динамической нагрузки по высоте колонны, как показано на рисунке 2.

При моделировании используются континуальные гексаэдрические элементы для исследования поведения бетона и стержневые элементы – для арматуры (на рисунке 3), где стрелками показаны степени свободы в узлах этих элементов.

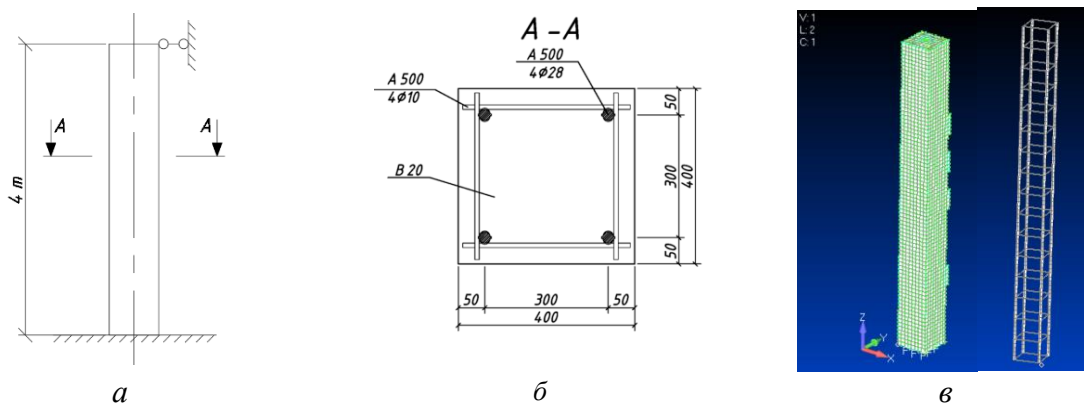


Рис. 1. Расчетная схема колонны - а, поперечное сечение и схема армирования - б, конечно-элементная модель конструкции (вид бетона и арматуры) - в

Fig. 1. Calculation diagram of the column - а, cross-section and reinforcement scheme - б, finite element model of the structure (view of concrete and reinforcement) - в

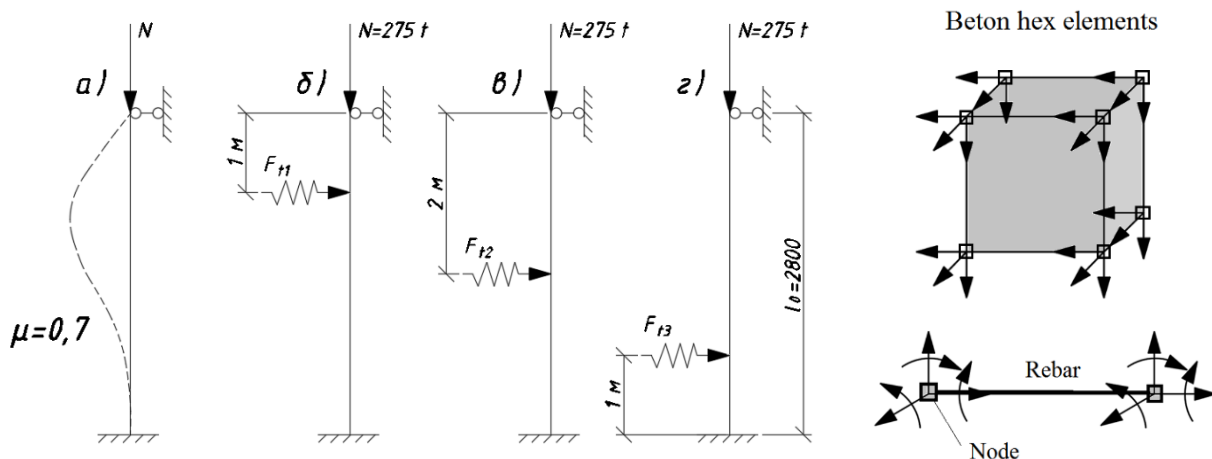


Рис. 2. Схема нагружения колонны статической и динамической нагрузкой

Fig. 2. Static and dynamic column loading diagram

Рис. 3. Типы конечных элементов

Fig. 3. Finite element types

Рассмотрим анализ устойчивости по недеформированной схеме. В данном расчете используется расчет в линейной постановке. Разрешающую систему уравнений МКЭ для анализа устойчивости представим в виде

$$([K] + \lambda \{P_0\} [K_G]) \{\delta\} = 0, \quad (1)$$

здесь $[K]$ – матрица жесткости,

λ – положительный коэффициент, связанный с базовым значением нагрузки $\{P_0\}$,

$[K_G]$ – геометрическая матрица,

$\{\delta\}$ – вектор узловых перемещений.

Эту систему будем решать при поиске наименьшего значения параметра λ , при этом главный определитель общей матрицы жесткости должен быть равен нулю:

$$| [K] + \lambda \{P_0\} [K_G] | = 0 \quad (2)$$

Горизонтальное ударное воздействие представим в виде статического силового эквивалента, который действует на колонну некоторое малое время, формируя импульс ударного воздействия. Прилагаем эти силы с привязкой по высоте, как показано на рис. 2. Определяем

предельную (критическую) силу $N_{cr} = \lambda_{\min} \{P_0\}$ и соответствующую этой силе схему потери устойчивости колонны. По результатам построены графики, позволяющие определить область значений нагрузок, являющихся безопасными для нормальной эксплуатации конструкции. При этом была выполнена оценка эксплуатационной продольной силы в соответствии с нормативами СП 63.13330. Максимальное значение этой силы N , приложенной к колонне, рассчитаем по формуле 8.17 СП 63.13330:

$$N = \varphi \times (R_b \times A + R_{sc} \times A_{s,tot}) \quad (3)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба;

R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию;

A – площадь сжатого сечения;

R_{sc} – расчетное сопротивление сжатию для арматуры;

$A_{s,tot}$ – площадь этой рабочей арматуры.

При назначении бетона класса $B20$ и арматуры класса $A500$ получено: $N = 2750$ кН. При этом для учета особенностей работы железобетонной конструкции в соответствии рекомендациями СП 63.13330 значение модуля упругости бетона E_b , уменьшалось на величину k_b :

$$k_b = \frac{0,15}{\varphi_l \times (0,3 + \delta_e)} \quad (4)$$

где φ_l – величина, учитывающая длительность нагружения;

δ_e – относительное значение эксцентриситета продольной силы.

Получено $k_b = 0,17$. Модуль упругости продольной арматуры E_s , по рекомендациям СП 63.13330, умножался на коэффициент $k_s = 0,7$.

Статический анализ устойчивости по деформированной схеме с учетом физической и геометрической нелинейностей выполняем на основе уравнения:

$$([K_\tau] + [K_G])\{\delta\} = \{R\} \quad (5)$$

где $[K]$ – касательная матрица жесткости, вычисляемая на основе матриц малых деформаций системы;

$[K_G]$ – геометрическая матрица;

$\{R\}$ – вектор внешних узловых сил.

При решении нелинейной задачи использовался метод Ньютона-Рафсона. Для моделирования деформаций бетона применялась модель Друкера-Прагера, задаваемая параметрами когезии бетона с учетом стеснения его деформаций сжатия в поперечном направлении пространственным арматурным каркасом. Задавалось значение когезии $c = 3$ МПа и угла внутреннего трения $\varphi = 33^\circ$. Учитывалась дилатация бетона с углом 26° , при ее наступлении на уровне нагруженности $\sigma / R_b = 0,3$. Действующая нагрузка прилагалась последовательно за 50 шагов с 25 итерациями на каждом шаге. Расчеты выполнялись для наиболее невыгодного расположения горизонтального ударного воздействия.

Анализ устойчивости в динамической постановке выполняем с использованием уравнения движения системы при ударном воздействии:

$$[M](\alpha \ddot{y}(t) + \dot{y}(t)) + [K](\beta \dot{y}(t) + y(t)) = F(t) + G\chi(t); \chi(t) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ 1, & t \geq t_0 \end{cases}, \quad (6)$$

где $\ddot{y}(t)$, $\dot{y}(t)$, $y(t)$ – векторы ускорений, скоростей и узловых перемещений;

$[M]$, $[K]$ – матрицы масс и жесткости конечно-элементной модели;

$F(t)$ – это вектор приведенной к узлам внешней нагрузки;

G – вектор сил тяжести ударяющего тела;

$\chi(t)$ – функция Хевисайда;

t_0 – момент времени, после которого учитывается величина G ;

α, β – коэффициенты Релея.

Для решения поставленной нами задачи динамики с учетом малого сопротивления среды и отсутствия в колонне накопленных локальных повреждений $\alpha = 0, \beta = 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для удара на высоте 1 м от верхней опоры (рис. 2) был выполнен расчет с различными значениями импульса силы. При относительно малых значениях $F_t < 100$ кН·сек основной вклад в деформирование колонны вносит величина N (рис. 4, а,б). По Эйлеру значение этой силы можно вычислить по формуле $N_{cr} = \pi^2 D / l_0$, что составило 21 000 кН. Такое значение критической силы свидетельствует об отсутствии потери устойчивости при эксплуатационных и даже аварийных воздействиях. Колонна будет разрушаться по бетону или арматуре. Для принятой нами геометрии и характеристиках материалов эта разрушающая нагрузка составит $N_{cr} \geq 2750$ кН. Однако при увеличении интенсивности горизонтального импульса F_t значения вертикальной силы, которое может вызвать потерю устойчивости, становится значительно ниже (рис. 4, в).

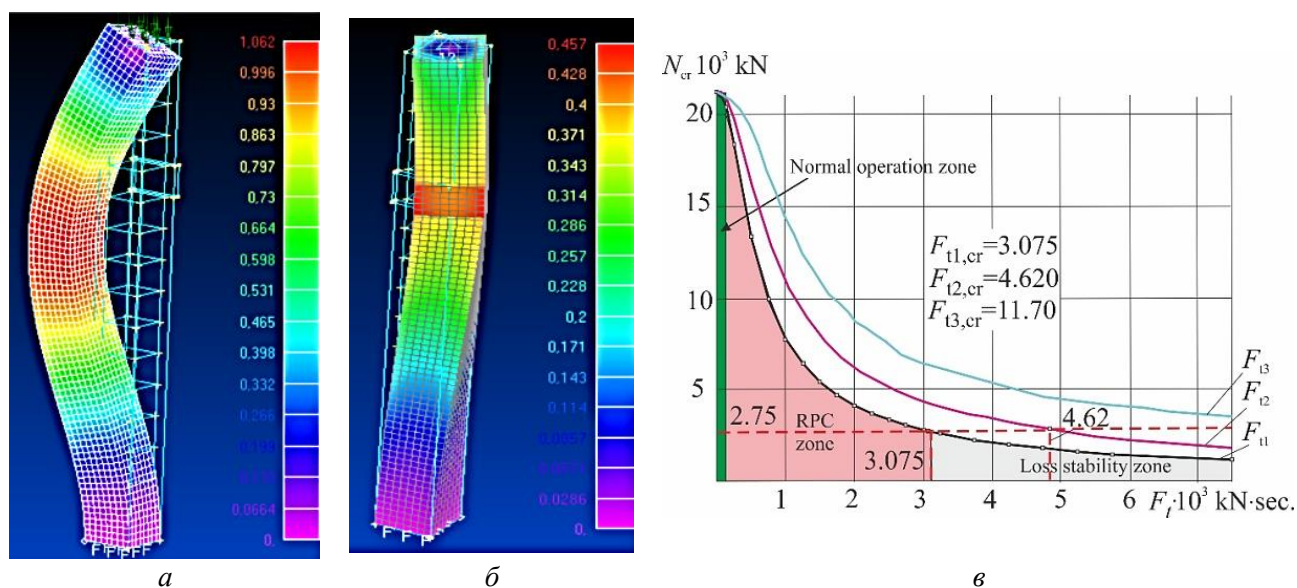


Рис. 4 Форма потери устойчивости колонны от продольной силы - а и от совместного действия продольной силы и горизонтального ударного воздействия - б; зависимость критической силы от интенсивности ударного воздействия - в; RPC – сопротивление прогрессирующему разрушению

Fig. 4. Shape of column stability loss from action predominantly of longitudinal force N - а and from joint action of longitudinal force N and impact - б; dependence of critical force on impact intensity - в;

RPC is the resistance under progressive collapse

Графики зависимости значения критической силы от воздействий $F_{t1} - F_{t3}$ представлены на рис. 4, в. Результаты расчета по деформированной схеме в статической постановке позволяют кроме значения критической силы получить оценку напряжений и перемещений конструкции в состоянии, близком к предельному. Оценка устойчивости по недеформированной схеме выявила, что наиболее опасным является воздействие F_{t1} , поэтому дальнейший анализ устойчивости будем выполнять только для него. Для этого воздействия были выполнены нелинейные расче-

ты в статической и динамической постановке. Целью расчетов является определение максимальной несущей способности колонны при изменяющейся интенсивности величины F_{t1} . В результате получены графики, показанные на рис. 5, а.

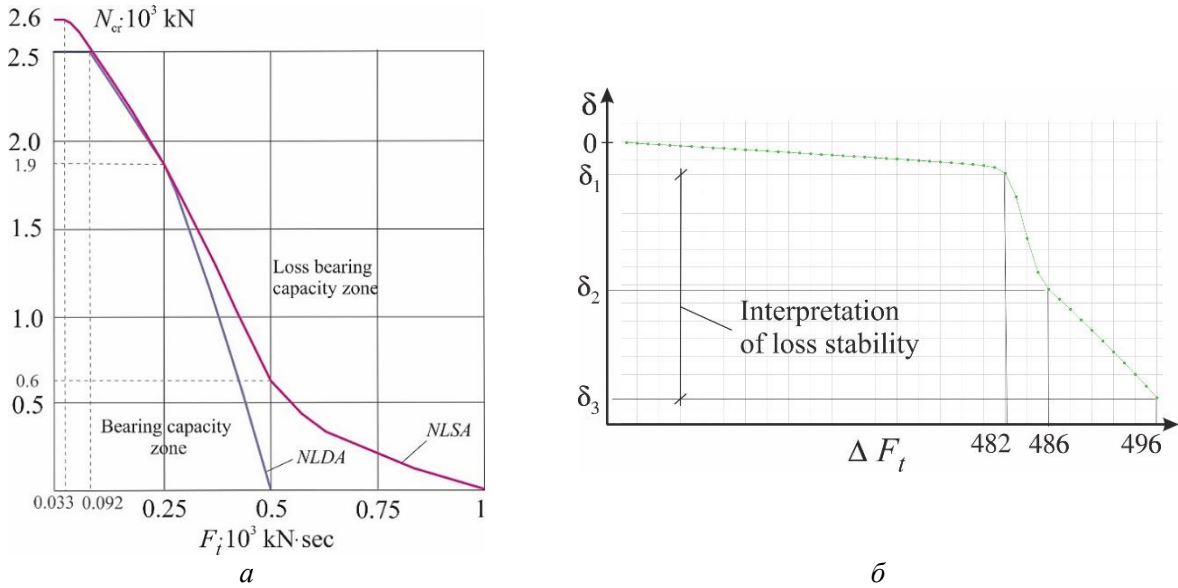


Рис. 5. Результаты оценки несущей способности колонны по деформированной схеме: область несущей способности $N - F_{t1}$ при nonlinear static analysis (NSLA) и при nonlinear dynamic analysis (NLDA) (а); интерпретация потери устойчивости при нелинейном статическом расчете (б)

Fig. 5. Results of column load-carrying capacity estimation according to the deformed scheme: area of load-carrying capacity $N - F_{t1}$ in nonlinear static analysis (NSLA) and in nonlinear dynamic analysis (NLDA) (a); interpretation of stability loss in nonlinear static calculation (b)

Значения $F_{t1} \leq 33$ кН·сек на рис. 5,а не приводит к потере устойчивости при уровне вертикальной сжимающей силы $N_{cr} = 2600$ кН при статическом анализе. При расчете в динамической постановке значение снижается до $N_{cr} = 2500$ кН, а $F_{t1} \leq 92$ кН·сек. На рис. 5,б показан график зависимости горизонтального перемещения δ в точке приложения ударного воздействия F_{t1} . При определенном значении нагрузки F_{t1} , величина которой соответствует 482 шагу ее приращения, начинается процесс резкого возрастания перемещений который интерпретируется как потеря устойчивости, дальнейшее увеличение перемещений от точки $\Delta F_{t2} = 486$ до $\Delta F_{t2} = 496$ связан с нелинейным деформированием конструкции в состоянии предразрушения. На рисунке б показаны графики режимов нагружения и горизонтальных колебаний колонны. На рис. 6 выделяются следующие участки: *A* – приложение вертикальной сжимающей силы, *B* – динамическая релаксация нагруженной системы, моделирующая ее статическое состояние, *C* – приложение и рост ударного импульса, *D* – сохранение интенсивности импульса постоянным в течение времени Δt , *E* – колебания системы после полного снятия ударной нагрузки.

Анализ результатов показывает, что учет физической и геометрической нелинейности привел к снижению интенсивности величины F_{t1} , что свидетельствует о необходимости обязательного учета нелинейных эффектов при анализе устойчивости железобетонных конструкций. Результаты оценки напряжений и деформаций в бетоне приведены на рис. 7, 8.

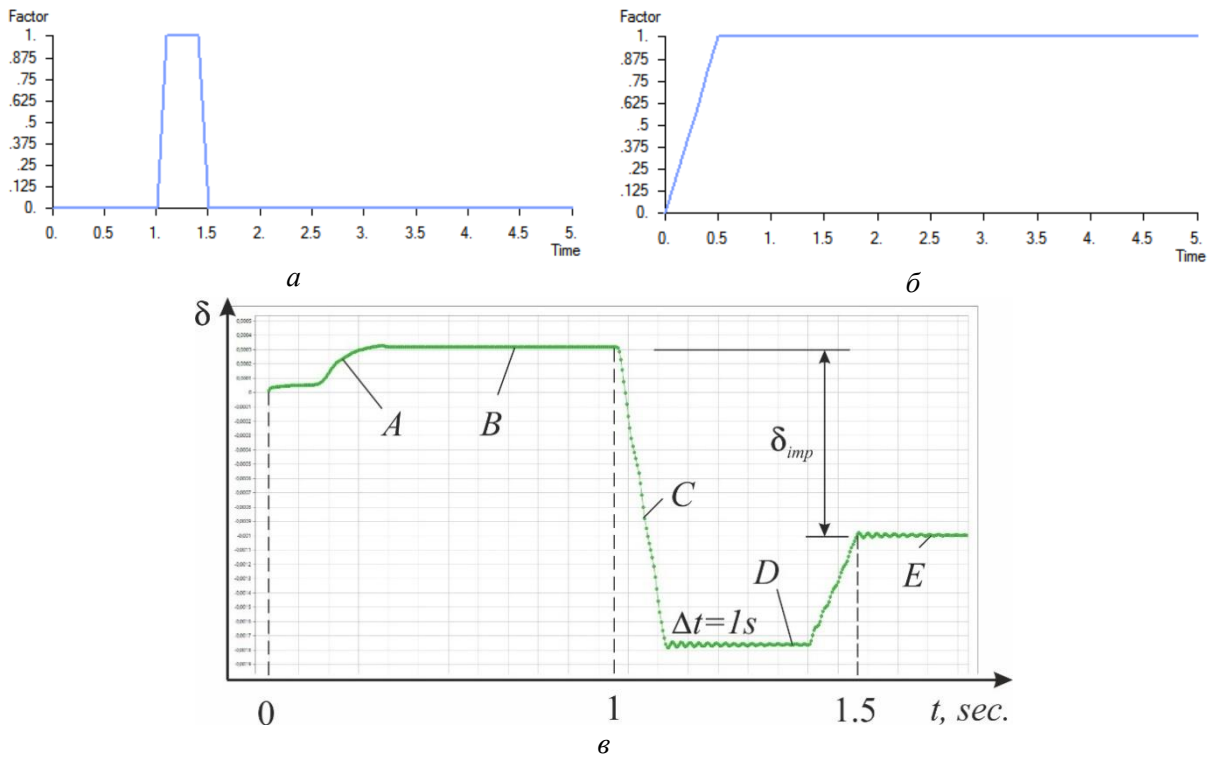


Рис. 6. Результаты нелинейного динамического анализа устойчивости железобетонной колонны:
a - зависимость $N(t)$; *б* - зависимость $F_{t1}(t)$; *в* - перемещения во времени
 точек приложения импульса $F_{t1} \cdot F_{t1}(t)$

Fig. 6. Results of nonlinear dynamic analysis of stability of reinforced concrete column:
a - dependence of $N(t)$; *б* - dependence of $F_{t1}(t)$; *в* - displacement in time of impulse $F_{t1} \cdot F_{t1}(t)$ application

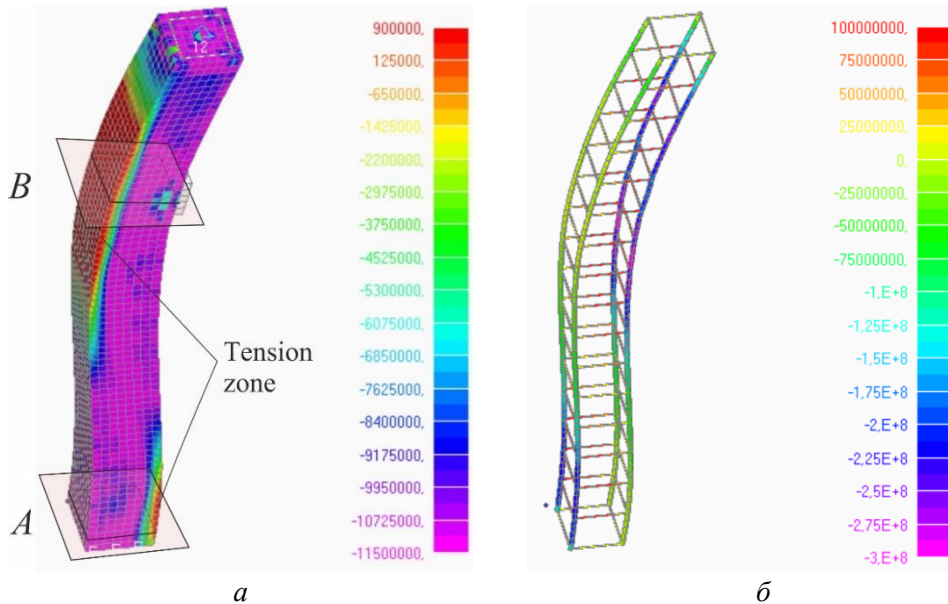


Рис. 7. Напряженно-деформированное состояние колонны в предельном состоянии при $F_{t1} = 250 \text{ kN} \cdot \text{сек}$: *a* - нормальные напряжения растяжения-сжатия в бетоне, *б* - эквивалентные напряжения Мизеса в арматуре
Fig. 7. Stress-strain state of the column in the limit state at $F_{t1} = 250 \text{ kN} \cdot \text{sec}$: *a* - normal tensile-compression stresses in concrete, *б* - equivalent von Mises stresses in reinforcement

Зоны напряжений в бетоне, соответствующие величине $9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, трактуются как зоны образования трещин (рис. 7, а). Как видно из рисунков при рассматриваемом ударном воздействии происходит разрушение по бетону, а напряжения в продольной рабочей арматуре со-

ставляют 0,4-0,7 от значения R_{sc} . При этом как видно на рис. 7,а напряжения в поперечных стержнях, перпендикулярных силовой плоскости удара, достигают предела текучести. На рис. 8,б-в показано распределение сжимающих напряжений в сжатой зоне бетона в различных сечениях по высоте колонны.

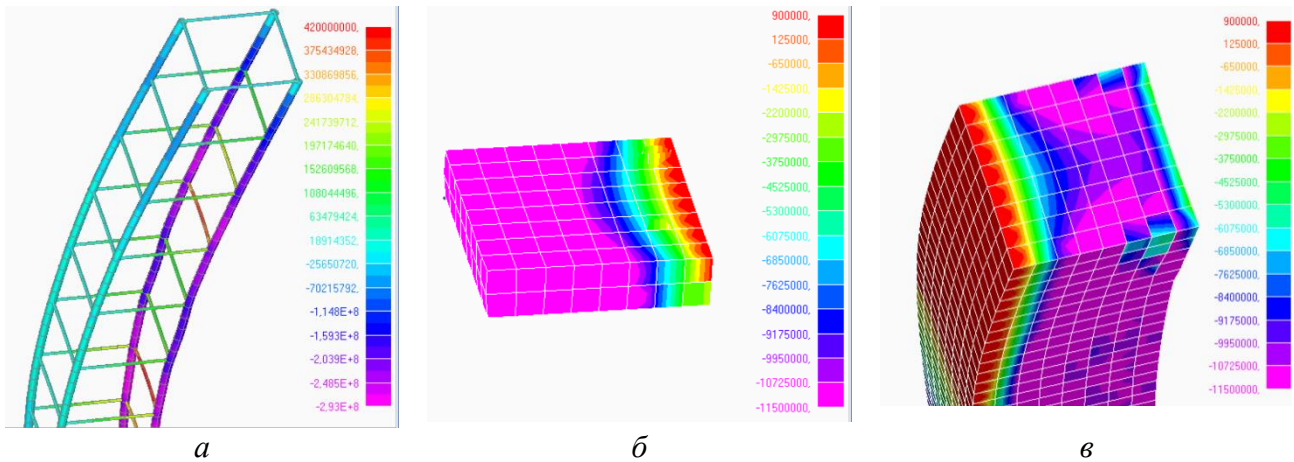


Рис. 8. Детализация напряженно-деформированного состояния колонны: напряжения текучести в хомутах - а, напряжения в бетоне для опорного сечения А - б, напряжения в бетоне для сечения в зоне ударного воздействия В - в

Fig. 8. Detailed description of the stress-strain state of the column: yield stresses in the clamps - а, stresses in the concrete for the support section А - б, stresses in the concrete for the section in the impact zone В - в

ДИСКУССИЯ

Результаты расчетов показывают, что при вертикальном нагружении рассматриваемой колонны потери устойчивости не наблюдается. При этом можно предположить, что для колонн с аналогичными или близкими параметрами гибкости этого явления не будет наблюдаться даже при аварийных вертикальных догрузках. Вместе с тем наличие горизонтального ударного импульса, соответствующего в той или иной степени реальной аварийной ситуации, существенно влияет на потерю устойчивости центрально сжатых колонн. Особую важность приобретают исследования таких воздействий на внецентренно сжатые колонны, где может быть важна не только высота приложения импульса, но и сторона воздействия на колонну.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ устойчивости сжатых железобетонных колонн при различных вариантах нагружений, который показал, что горизонтальные аварийные воздействия существенно влияют на величину критической силы, а упрощенный подход, не учитывающий физической и геометрической нелинейности, может давать необъективную оценку этого явления.

2. Установлена возможность оценки устойчивости железобетонных колонн на основе объемных конечно-элементных моделей, с жесткостными характеристиками материалов, вычисляемыми по СП 63.13330, что может быть использовано в технологиях информационного моделирования и при оптимизации железобетонных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete frame at loss of stability // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 4 (80). С. 73-80.
2. Колчунов В.И., Моргунов М.В., Кожаринова Л.В., Прасолов Н.О. К вопросу алгоритмизации задачи расчета живучести железобетонных конструкций при потере устойчивости // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 52-54.
3. Белов Н.Н., Кабанцев О.В., Коняев А.А., Копаница Д.Г., Толкачев В.Ф., Югов А.А., Югов Н.Т. Расчет прочности железобетона на ударные нагрузки // Прикладная механика и техническая физика. 2006. Т. 47. № 6 (280). С. 165-173.
4. Люблинский В.А., Тамразян А.Г. Безопасность несущих систем многоэтажных зданий при локальном изменении жесткостных характеристик несущих элементов // В сборнике: Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В семи томах. 2014. С. 90-99.
5. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
6. Fedorova N.V., Savin S.Y. Time of dynamic impact to elements of RC frame at column buckling // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019. С. 033030.
7. Kabantsev O.V., Mitrovitch B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 012002.
8. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 7. С. 819-830.
9. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций. Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.
10. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V. About the problem of analysis resistance bearing systems in failure of a structural element // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Т. 14. № 3. С. 103-113.
11. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029.
12. Тамразян А.Г. Расчет внецентренно сжатых железобетонных элементов при динамическом нагружении в условиях огневых воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 29-35.

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete frames at loss of stability. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. no 4 (80). Pp. 73-80.
2. Kolchunov V.I., Morgunov M.V., Kozharinova L.V., Prasolov N.O. To the problem of algorithmization of the problem of calculating the survivability of reinforced concrete structures at loss of stability. *Industrial and Civil Engineering*. 2012. no 12. Pp. 52-54.
3. N.N. Belov, O.V. Kabantsev, A.A. Konyaev, D.G. Kopanitsa, V.F. Tolkachev, A.A. Yugov, N.T. Calculation of Reinforced Concrete Strength under Impact Loads. *Applied Mechanics and Technical Physics*. 2006. Т. 47. no 6 (280). Pp. 165-173.
4. Lublinsky V.A., Tamrazyan A.G. Safety of load-bearing systems of multi-storey buildings with a local change in the rigidity characteristics of the load-bearing elements. In a collection: Concrete and Reinforced Concrete - a Glance into the Future. Proceedings of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete: In Seven Volumes. 2014. Pp. 90-99.
5. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. no 3 (103). Art.n. 10306.
6. Fedorova N.V., Savin S.Y. Time of dynamic impact to elements of RC frame at column buckling. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019. Art.n. 033030.
7. Kabantsev O.V., Mitrovitch B. Justification of the special limit state characteristics for monolithic reinforced concrete bearing systems in the progressive collapse mode. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Art.n. 012002.

8. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Optimal design of bearing structures of buildings taking into account the relative risk of accidents. *Vestnik MGSU*. 2019. T. 14. no 7. Pp. 819-830.
9. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Evolutionary Optimization of Normally Operated Reinforced Concrete Beam Structures Taking into Account the Risk of Emergency Situations. *Industrial and civil engineering*. 2019. no 9. Pp. 45-50.
10. Perelmutter A.V., Kabantsev O.V. About the problem of analysis of resistance bearing systems in failure of a structural element. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2018. T. 14. No 3. Pp. 103-113.
11. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. In the collection: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. Art.n. 01029.
12. Tamrazyan A.G. Calculation of eccentrically compressed reinforced concrete elements under dynamic loading under fire loads. *Industrial and Civil Engineering*. 2015. no 3. Pp. 29-35.