

Определение уровня ответственности железобетонных колонн монолитного многоэтажного каркасного здания

О.С. Щедрин

АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», Москва

Аннотация: Обеспечение надежности и безопасности несущих конструкций, зданий и сооружений является важнейшей задачей. Надежность или безопасность конструктивной системы неразрывно связана с элементами этой системы, которые обеспечивают прочность, пространственную устойчивость. Значимость каждого несущего элемента в системе здания по обеспечению общей механической безопасности оценивается по-разному. Для многоэтажных каркасных зданий несущие элементы, например, колонны нижних этажей, при их отказе могут привести к значительно большему объему разрушений по сравнению с конструкциями верхних этажей. В статье приводится методика определения критериев, по которым можно установить уровень ответственности колонн в зависимости от их расположения в плане здания, разработанная на основе численных исследований. В результате составлена классификация по уровню ответственности колонн монолитного многоэтажного каркасного здания.

Ключевые слова: метод предельных состояний, особое предельное состояние, аварийная расчетная ситуация, ответственность несущих элементов, железобетонные колонны

Одним из важных аспектов введения дифференцированного уровня ответственности несущих элементов является повышение механической безопасности при более рациональном распределении материалов и разработка конструктивных систем, более устойчивых к прогрессирующему обрушению [1,2]. Это связано в первую очередь с определением в здании так называемых ключевых элементов, требования к которым должны быть повышенными, как по показателям несущей способности, так и по степени пространственного взаимодействия в несущей системе. Это очевидно приведет к сужению круга несущих конструкций, обладающих повышенной несущей способностью и к более адресному обеспечению требуемых параметров работы узловых сопряжений [3-5].

Для определения уровня ответственности несущих конструкций важным фактором является назначение критериев, по которым обоснованно корректируются нагрузочные или прочностные характеристики конструкции.

Опираясь на отечественный [6-8] и международный опыт [9-11] и результаты независимых расчетов по определению напряженно-деформированного состояния каркасной системы, показанной на рис. 1, при поочередном удалении одного вертикального несущего элемента за основной параметр был принят объем разрушений конструкций находящихся в запредельном состоянии, последовавший за отказом рассматриваемой несущей конструкции [12-14].

Для многоэтажных каркасов из монолитного железобетона с безригельными перекрытиями, на основании анализа полученных схем разрушения при отказе колонн, расположенных на разных осях плана и по различным этажам, этот параметр может соответствовать площади перекрытий, превысивших критерии предела по несущей способности [15].

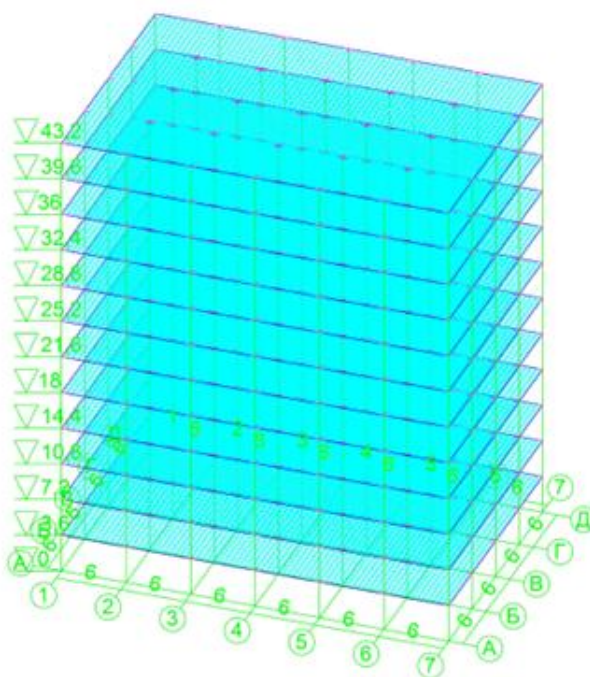


Рис. 1. – Схема многоэтажного каркаса с безригельными перекрытиями

Суммарная площадь разрушения перекрытий здания (S_{iff}^R) вследствие начального отказа колонн, зависит от расположения колонн в плане и по высоте. Для оценки такого влияния используется связанная с S_{iff}^R

относительная величина – коэффициент значимости местоположения в плане колонны, расположенной на пересечении осей i и j на этаже f (K_{sijf}). Данный коэффициент характеризует относительный объем разрушения и равен фактической площади разрушения, деленной на суммарную грузовую площадь над рассматриваемой колонной:

$$K_{sijf} = \frac{S_{ijf}^R}{S_{ijf}^G}, \quad (1)$$

где S_{ijf}^G – суммарная грузовая площадь удаляемой колонны.

Следует отметить, что при увеличении армирования и/или класса бетона монолитных железобетонных конструкций, в первую очередь плит перекрытий и покрытия, площадь разрушения конструкций здания (S_{ijf}^R) и соответствующий коэффициент K_{sijf} будут снижаться. Поэтому, учитывая влияние на площадь разрушения характеристик конструкций (класс бетона по прочности, класс арматуры, количество арматуры и т.п.), логично считать K_{sijf} показателем, зависимым от несущей способности конструкций.

На рис. 2 показаны гистограммы, построенные по показателям относительных площадей перекрытия, оказавшихся в запредельном состоянии при отказе соответствующей колонны первого этажа.

Из представленных гистограмм видно, что при линейном и нелинейном расчетах распределение показателей K_{sijf} относительных площадей в плане имеет одинаковый характер. Максимальная величина относительной площади K_{sijf} приходится на угловую колонну. Следующей колонной по величине параметра K_{sijf} является крайняя по оси «2» и близкая к ней крайняя колонна по оси «Б». Затем следуют крайние колонны по осям «3» и «В». Таким образом проявляется принцип симметрии. За четвертый уровень величины относительной площади разрушения K_{sijf} следует принять ближайшую к угловой среднюю колонну на пересечении осей «2-Б». К

пятому уровню величины K_{sijf} можно отнести колонны остальных средних рядов.

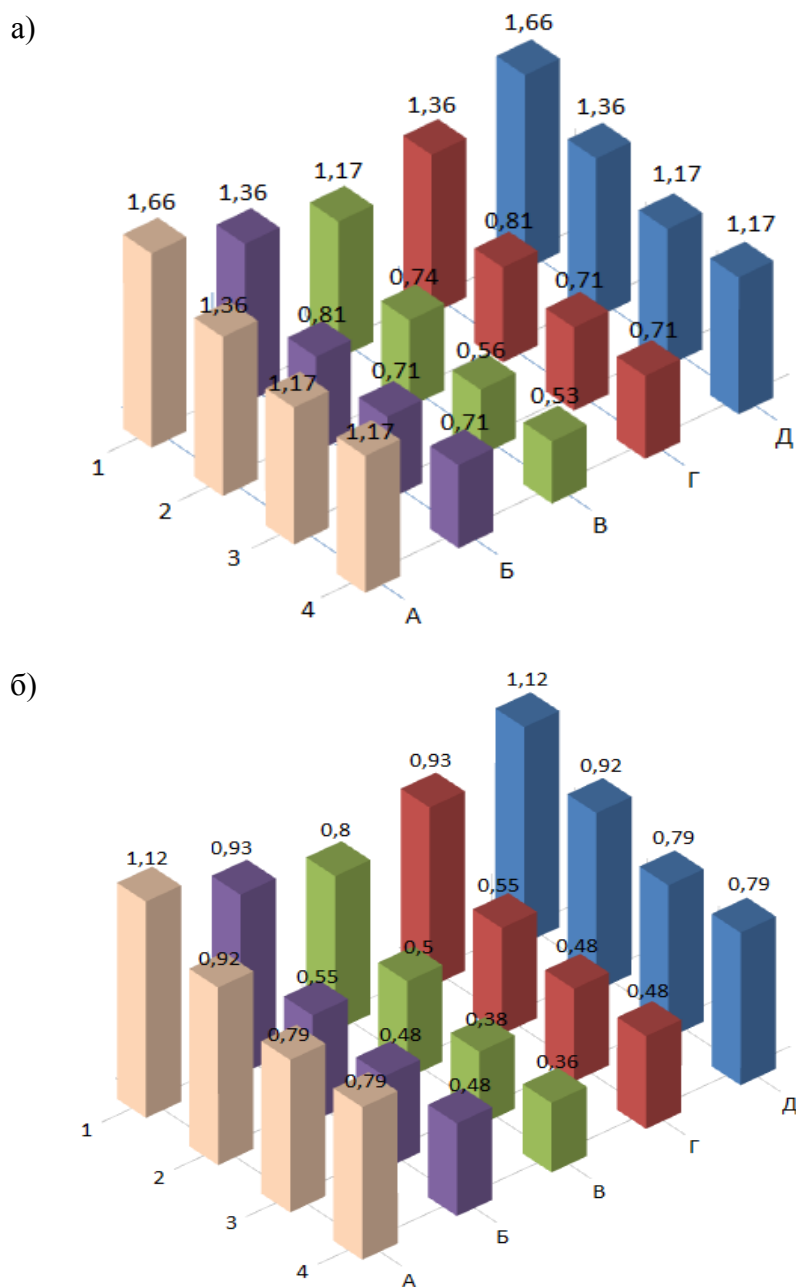


Рис. 2. – Распределение относительных площадей разрушения перекрытий K_{sijf} при отказе соответствующей колонны первого этажа: а – линейный расчет; б – расчет с учетом нелинейности

При назначении уровня ответственности несущих конструкций предлагается учитывать максимальную величину догружения

(перераспределения) усилий при отказе несущего элемента сопрягаемых конструкции. Следует отметить, что величина догружения соседней колонны, в сумме с действующим в ней усилием, может превысить ее несущую способность и привести к последующему обрушению.

Коэффициент догружения колонны k_{ijf}^d , расположенной на пересечении осей i и j на этаже f при отказе соседней колонны, расположенной на этом этаже f определяется по выражению:

$$K_{ijf}^d = \frac{N_{ijf}^R}{N_{ijf}}, \quad (2)$$

где N_{ijf}^R – значение усилия N в колонне, расположенной на пересечении осей i и j этажа f , соседствующей с колонной, отказ которой учтен в расчетной схеме;

N_{ijf} – значение усилия N в той же колонне на этаже f , расположенной на пересечении осей i и j этажа f от эксплуатационных нагрузок.

Коэффициент догружения показывает – во сколько раз изменяется значение продольного усилия N в рассматриваемой колонне при отказе соседней колонны.

Расчетный анализ перераспределения усилий вследствие отказа колонн по всему плану и уровню по этажам показал, что численные значения коэффициента догружений (k_{ijf}^d) в основном зависят от расположения удаляемой колонны в плане. По этажам многоэтажного каркасного здания значения относительных догружений (k_{ijf}^d) незначительно отличаются от характера распределения на первом этаже.

Максимальную величину догружения колонн следует принять, как коэффициент значимости по догружению k_{ijf}^d вследствие перераспределения усилий, который определяют по выражению (2).

Используя критерии особого предельного состояния для аварийных расчетных ситуаций [16,17], величину критического догружения следует принять равной 30 % и более, от величины первоначального напряженно-деформированного состояния.

По данным расчетов многоэтажного каркаса из монолитного железобетона распределение коэффициента догрузений соседних колонн первого этажа представлено на рис. 3. Из представленных диаграмм видно, что максимальное догружение колонны достигает 54 % при отказе крайней второй колонны по осям «2» и «Б». Такое увеличение усилий приведет к разрушению угловой колоны. Следовательно, по критерию перераспределения усилий наиболее ответственными являются колонны по осям 1А и 1Б.

Следующая колонна, отказ которой приведет к обрушению соседней колонны является колонна располагаемая по оси 2Б. Вследствие отказа этой колонны догружение колонны по оси 2А составляет 37 %. По принятым критериям последует разрушение колонны 2А.

Отказ угловой колонны (ось 1А), являющейся наиболее ответственной по критерию объема разрушений, приводит к догружению соседних колонн по осям «1» и «А» на 30 %, что также превышает установленный критерий несущей способности.

В остальных рассмотренных случаях отказа средних колонн догружение не превышает 23 %, т.е. их отказ с принятой величиной догружения не приведет к обрушению соседних колонн.

Распределение по уровню ответственности колонн по критерию коэффициента догружения представлено на рис. 4.

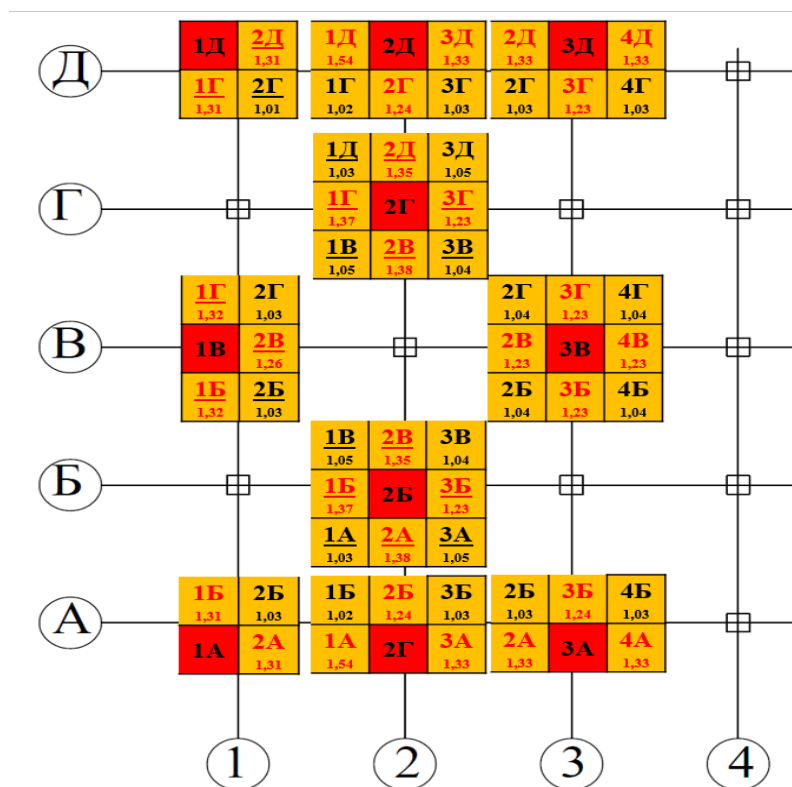


Рис. 3. – Распределение коэффициентов догружения смежных колонн при отказе колонн 1-го этажа

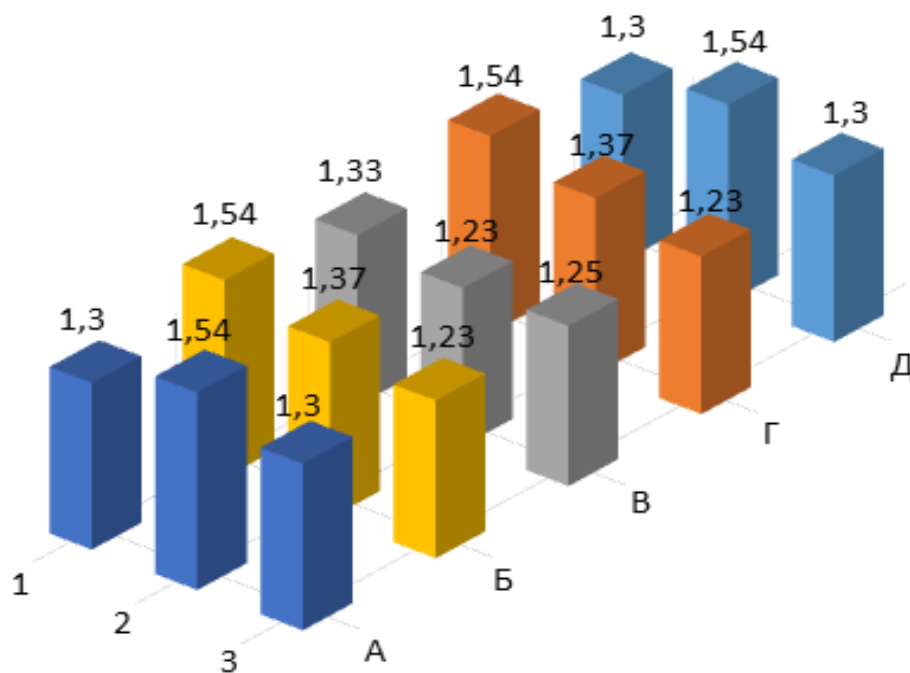


Рис. 3. – Распределение показателей ответственности колонн на основе критерия максимального коэффициента догружения колонн

На основании выполненной серии расчетов многоэтажного здания с безригельным каркасом были сделаны следующие выводы:

1. Анализ показателей объемов разрушений и степени перераспределения усилий, вызванных отказом колонны, позволяет определить распределение ответственности рассматриваемых колонн в каркасном здании из монолитного бетона.

2. При начальном поочередном разрушении колонн многоэтажного каркасного здания по результатам расчетов стадии нормальной эксплуатации происходит последующее по этажам разрушение безригельных перекрытий.

3. Площадь разрушения зависит от расположения в плане и по высоте здания удаляемой колонны. Характер распределения показателей ответственности по относительным площадям разрушений в плоскости этажа практически одинаков для всех этажей.

4. Максимальный объем разрушений вызывает отказ 1-3 колонн наружных рядов соответственно по буквенным и цифровым рядам и угловой колонны второго ряда (расположена по диагонали от угловой колонны наружного ряда).

5. Площадь разрушаемых перекрытий в здания при начальном локальном разрушении колонн, имеющих одинаковое расположение в плане уменьшается от 1-го до 12-го этажа.

6. Максимальная степень перераспределения усилий достигает 50% при отказе колонн крайних рядов, которая может вызвать перегруз соседних колонн.

7. Ответственность отдельной колонны, расположенной на пересечении осей i и j в рассматриваемом здании на этаже f следует определять с учетом полученных значений коэффициентов относительных площадей перекрытий k_{ij} и догрузки соседних колонн по высоте k_{ij}^d .

Литература

1. Травуш В.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №2. С. 46-54.
2. Тамразян А. Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов — необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко "Исследования по теории сооружений". 2009. № 1. С.160-171.
3. Бузало Н.А., Канунников А.В. Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий // Строительство и реконструкция. 2018. № 3. С.3-11.
4. Колчунов В.И., Тур В.В. Направления проектирования конструктивных систем в особых расчетных ситуациях // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 5-16.
5. Тамразян А.Г. Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 109–115.
6. Складнев Н.Н., Федяев А.А. О методике определения коэффициента надежности по назначению // Строительная механика и расчет сооружений. 1987. № 2. С. 3-6.
7. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А., Шмаков С.Д., Щедрин О.С. Методика определения эксплуатационной безопасности зданий и их конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2022. №4. С. 152-159.
8. Келасьев Н.Г., Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Терехов И.А., Рэуцу А.В., Шмаков С.Д. Возможный подход к определению коэффициента значимости

строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 11. С.99-104.

9. Kokot S., Solomos G. Progressive collapse risk analysis: literature survey, relevant construction standards and guidelines. European Laboratory for Structural Assessment, Italy: Joint Research Centre, 2012. 80 p.

10. Raizer V.D. Reliability of structures: analysis and applications. USA: Backbone Publishing Company, 2009. 146 p.

11. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century // Engineering Structures. 2018. Vol. 173. Pp. 122-149.

12. Chen Z., Zhu Y., Lu X., Lin K. A simplified method for quantifying the progressive collapse fragility of multi-story RC frames in China // Engineering Failure Analysis. 2023. № 143. Pp. 106924.

13. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Горцевской А.А. О несущей способности колонн из бетонов каркасной структуры при центральном осевом сжатии // Инженерный вестник Дона. 2022. № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7971.

14. Tampazyan A., Zubareva S. Optimal design of reinforced concrete structures taking into account the particular calculation for progressive destruction // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. URL: mtec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/31/matecconf_rsp2017_00163.pdf.

15. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Щедрин О.С. Определение показателя ответственности железобетонных колонн в многоэтажных каркасных зданиях. // VIII Международный симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Тезисы докладов. Тамбов: изд. ИП Чеснокова, 2023. С.183-184.

16. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н. Особое предельное состояние железобетонных конструкций и его нормирование // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 5. С.4-9.

17. Чаганов А.Б., Черепанов А.В., Шмаков С.Д. Особое предельное состояние железобетонных конструкций. Актуальное состояние и перспективы развития проблемы // Инженерный вестник Дона. 2022. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8104.

References

1. Travush V.I., Kolchunov V.I., Leontyev E.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. №2. pp. 46-54.

2. Tamrazyan A. G. Vestnik CNIISK im. V.A. Kucherenko "Issledovaniya po teorii sooruzhenij". 2009. № 1. pp. 160-171.

3. Buzalo N.A., Kanunnikov A.V. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2018. № 3. pp. 3-11.

4. Kolchunov V.I., Tur V.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2023. №7. pp. 5-15.

5. Tamrazyan A.G. Vestnik MGSU. 2012. № 10. pp. 109–115.

6. Skladnev N.N., Fedyaev A.A. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1987. № 2. pp. 3-6.

7. Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D., Shchedrin O.S. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2022. № 4. pp. 152-159.

8. Kelasev N.G., Kodysh E.N., Trekin N.N., Terekhov I.A., Reutsu A.V., Shmakov S.D. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. № 11. pp. 99-104.

9. Kokot S., Solomos G. Progressive collapse risk analysis: literature survey, relevant construction standards and guidelines. European Laboratory for Structural Assessment, Italy: Joint Research Centre, 2012. 80 p.



10. Raizer V.D. Reliability of structures: analysis and applications. USA: Backbone Publishing Company, 2009. 146 p.
11. Adam J.M., Parisi F., Sagaseta J., Lu X. Engineering Structures. 2018. Vol. 173. Pp. 122-149.
12. Chen Z., Zhu Y., Lu X., Lin K. Engineering Failure Analysis. 2023. № 143. Pp. 106924.
13. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Gortsevskoy A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7971.
14. Tampazyan A., Zubareva S. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/31/matecconf_rsp2017_00163.pdf.
15. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shchedrin O.S. VIII Mezhdunarodnyj simpozium «Aktual'nye problemy komp'yuternogo modelirovaniya konstrukcij i sooruzhenij. Tezisy dokladov (VIII International Symposium “Current problems of computer modeling of structures and structures. Abstracts of reports). Tambov: ed. IP Chesnokova, 2023. pp. 183-184.
16. Trekin N.N., Kodysh E.N. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. № 5. P.4-9.
17. Chaganov A.B., Cherepanov A.V., Shmakov S.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8104.

Дата поступления: 27.01.2024

Дата публикации: 7.03.2024