12. Petrov V.V., Krivoshein I.V. Metody raschota konstruktsiy iz nelineyno-deformiruyemogo materiala [Methods for calculating structures from non-linearly deformable material]. Moscow: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2009. 208 p.
13. Treshchev A.A. Teoriya deformirovaniya i prochnosti materialov s iznachal'noy i navedennoy chuvstvitel'nost'yu k vidu napryazhennogo sostoyaniya. Opredelyayushchiye sootnosheniya [The theory of deformation and strength of materials with initial and induced sensitivity to the type of stress state. Defining Relationships]. Moscow, Tula: RAACS; TulGU, 2016. 236 p.
14. Sergeyeva S.B., Treshchev A.A. Raschet kruglykh plastin, vpolnennykh iz titanovykh splavov, podverzhennykh sovmestnomu vozhdeystviyu nagruzki i vodorodosoderzhashchey sredy [Calculation of round plates made of titanium alloys subjected to the combined action of a load and a hydrogen-containing medium]. *Izvestiya TulGU. Seriya: matematika, mekhanika, informatika*. 2001. Vol. 7. Issue. 2. Pp. 167 – 172.
15. Jones R.M., Nelson D.A.R. Material for nonlinear Deformation. *AIAA Journal*. 1976. Vol. 14. No 6. Pp. 709–716.
16. Maekawa K., Ishida T. Modeling of structural performances under coupled environmental and weather actions. *Materials and Structures*. 2002. No 35. Pp. 28 – 42.
17. Tabaddor F. Constitutive Equations for Bimodulus Elastic Materials. *AIAA Journal*. 1972. Vol. 10. No 4. Pp. 516-518.

Информация об авторах:

Трещёв Александр Анатольевич

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия,
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции»
E-mail: taa58@yandex.ru

Кузнецова Виолетта Олеговна

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия,
Аспирант кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции»
E-mail: kuznecova_violetta@mail.ru

Information about authors:

Treshchev Alexander Anatolyevich

Tula State University, Tula, Russia,
Corresponding member of RAACS, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Construction, building materials and structures"
E-mail: taa58@yandex.ru

Kuznetsova Violetta Olegovna

Tula State University, Tula, Russia,
Postgraduate Student of the Department of Construction, Building Materials and Structures
E-mail: kuznecova_violetta@mail.ru

СПОСОБ УСИЛЕНИЯ КАРКАСА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДКАХ ФУНДАМЕНТОВ

КОЛЧУНОВ В.И.¹, ДЬЯКОВ И.М.², ГРЕЧИШНИКОВ С.В.¹, ДЬЯКОВ М.И.²

¹Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия

²Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Аннотация. Приведены результаты исследования поврежденного состояния многоэтажного здания служебно-бытовой блока Курской АЭС. Анализ выполнен с учетом инженерно-геологического строения основания и особенностей возведения каркаса. Изучены имеющиеся повреждения и деформаций несущих и ограждающих элементов, выявлены их причины, основными среди которых являются неравномерная осадка фундаментов, вызванная опиранием одного ряда подколонников на фундаментную плиту примыкающего здания производственного корпуса, а также последовательность возведения расположенных рядом строений.

Описан разработанный способ усиления каркаса многоэтажного здания, основанный на переопирании ряда колонн на дополнительный независимый ленточный фундамент, расположенный между крайней и средней осями. Расчетным анализом показана эффективность предложенной конструкции усиления, при этом предложены дополнительные конструктивные решения по защите здания от прогрессирующего обрушения.

Ключевые слова: усиление фундаментов, неравномерная осадка фундаментов, повреждения, деформации, ленточный фундамент, железобетонный каркас, прогрессирующее обрушение

METHOD FOR STRENGTHENING THE FRAME OF A MULTI-STOREY BUILDING UNDER DIMENSIONAL SEDIMENTS OF FOUNDATIONS

KOLCHUNOV V.I.¹, DIAKOV I.M.², GRECHISHNIKOV S.V.¹, DIAKOV M.I.²

¹South-West state University, Kursk, Russia

²Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia

Abstract. The results of the study of the damaged condition of the multi-storey building of the service and household unit of the Kursk NPP are presented. The analysis is carried out taking into account the engineering-geological structure of the base and the peculiarities of the construction of the frame. Studied existing damage and deformation of load-bearing and enclosing elements identified their causes, chief among which are uneven sediment of foundations, caused by resting one row of subcolumns on the base plate adjacent buildings industrial buildings, as well as the sequence of construction of adjacent buildings.

The developed method of strengthening the frame of a multi-storey building, based on the re-support of a number of columns on an additional independent ribbon Foundation, located between the extreme and middle axes, is described. The calculated analysis shows the effectiveness of the proposed reinforcement structure, while additional design solutions are proposed to protect the building from progressive collapse

Keywords: strengthening of foundations, uneven sediment of foundations, damage, deformation, ribbon Foundation, reinforced concrete frame, progressive collapse.

Введение

Необходимость в проведении усиления конструкций зданий и сооружений ежегодно увеличивается. С одной стороны, это связано с длительной эксплуатацией и возрастной деградацией строительных объектов [1,2,3,4]. С другой стороны, в условиях роста объемов строительства в сложных инженерно-геологических и стесненных условиях, многофакторная неопределенность воздействий, проектные ошибки, недоучет тех или иных факторов строительства приводит к деформациям и повреждениям зданий, а соответственно – к необходимости усиления фундаментов и надфундаментных конструкций [3,5,6,7,8,9]. В этих условиях повышается актуальность поиска новых технических решений по усилению конструкций поврежденных зданий и сооружений, совершенствования методик их расчетного анализа, в том числе и на создание методов защиты от прогрессирующего разрушения в процессе эксплуатации и производства работ [10-12].

В рамках реализации проекта восстановления поврежденного здания служебно-бытовой блока Курской АЭС был проведен анализ его технического состояния и разработана система усиления фундаментов и элементов каркаса [5,13].

Здание служебно-бытового блока (СББ КПЖРО) представляет собой четырехэтажное каркасное здание размерами в плане – 43,94х13,49 м с высотой этажа – 3,6 м и общей высотой – 18,35 м (рисунок 1). Между осями «27»-«28», «Г/1»-«Е/2» располагается подвал с отметкой пола -3,700. По оси «26» служебно-бытовой блок примыкает к производственному корпусу. Здание выполнено по рамно-связевой конструктивной схеме из сборного железобетона с шарнирным сопряжением ригелей и колонн.

Геологический разрез основания под зданием по скважинам, расположенным вдоль его продольной оси в соответствии с последними инженерно-геологическими изысканиями 2018 года представлен на рисунке 2, с характеристиками основания приведенными в таблице 1.

Пространственная устойчивость здания обеспечивается системой вертикальных диафрагм жесткости, объединённых горизонтальными дисками перекрытий. Наружные стены – самонесущие из кирпичной кладки толщиной 640 мм.

Фундаменты под колонны здания выполнены столбчатыми монолитными железобетонными с отметкой подошвы -2,100 м. По оси «26», в соответствии с проектом, подколонники оперты на фундаментную плиту смежного производственного корпуса. Железобетонные колонны каркаса имеют квадратное сечение размерами 400х400 мм. Ригели покрытия и перекрытий приняты сборными в виде Т-образного поперечного сечения габаритными размерами 595х590 мм. Все конструкции каркаса были выполнены из бетона класса В20 и армированы рабочей арматурой класса А400. Перекрытия и покрытие – сборные железобетонные из круглопустотных плит.

Таблица 1 — Расчетные характеристики грунтов основания

Наименование	Удельный вес	Модуль деформации	Модуль упругости	Коэффициент Пуассона
	Т/м ³	Т/м ²	Т/м ²	
ИГЭ 1	1.91	2038.74	16989.47	0.32
ИГЭ 2	1.5	2038.74	16989.47	0.32
ИГЭ 3	1.95	1512.82	12942.26	0.35
ИГЭ 4	2.05	1427.12	11892.63	0.35
ИГЭ 5	1.63	2446.49	20387.36	0.32
ИГЭ 6	1.91	1427.12	11892.63	0.35
ИГЭ 7	1.79	3567.79	29731.57	0.33

Рисунок 1 — Схема здания служебно-бытового блока: а - план; б – разрез; в – план фундаментов

Рисунок 2 — Инженерно-геологический разрез основания под зданием

Примыкающий к служебно-бытовому производственный корпус располагается на фундаментной плите из монолитного железобетона толщиной 1,0 м. После частичного возведения производственного корпуса, его строительство было приостановлено. В процессе строительства служебно-бытового блока столбчатые фундаменты здания по оси «26», в соответствии с проектом, были оперты на фундаментную плиту производственного корпуса КПЖРО. После достройки производственного корпуса вследствие осадки фундаментной плиты произошла дополнительная осадка столбчатых фундаментов служебно-бытового блока по оси «26» на величину, превышающую допустимое нормами значение. Неравномерная осадка здания явилась причиной возникновения значимых дефектов и повреждений конструкций служебно-бытового блока[2,14].

Результаты обследования

В результате проведенного обследования технического состояния здания служебно-бытового блока выявили следующее:

– в осях «26»/«А1» в узле опирания фундаментной балки на столбчатый фундамент имеется зазор между нижней гранью фундаментной балки и верхней гранью столбчатого фундамента, связанный с превышением осадки фундаментов корпуса по оси «26» и величины осадки столбчатых фундаментов служебно-бытового корпуса по осям «27» и «28», а также изменением схемы опирания фундаментной балки;

– в поперечных стенах и перегородках между осями «26»-«27» имеются наклонные трещины шириной раскрытия до 5 мм, связанные с неравномерной осадкой фундаментов здания, частичным изменением схемы опирания конструкции здания в осях «27»-«28» через перегородки на конструкцию пола и защемлением отдельных колонн конструкцией пола;

– между наружной стеной и колоннами в осях «27»/«Н1», а также между стеной и плитами перекрытий имеются значительные зазоры с раскрытием до 30 мм, связанные с неравномерной осадкой фундаментов и креном каркаса здания.

Анализ относительной осадки фундаментов здания показал, что: фактическая относительная разность осадок фундаментов по оси «26» и фундаментов по осям «27», «28», а также отклонение от горизонтальной плоскости отдельных конструкций на период обследования превышает предельно допустимые значения. При этом прогибы конструкций ригелей находятся в границах допустимых значений.

В целом, на основании проведенного анализа результатов обследования технического состояния здания, были сделаны следующие основные выводы:

– при разработке проекта здания служебно-бытового блока не было учтено взаимное влияние фундаментов производственного корпуса и служебно-бытового блока;

– в процессе строительства производственного корпуса произошла значительная осадка фундаментной плиты и опирающихся на нее подколонников служебно-бытового блока по оси «26» и, соответственно крен фундаментных балок под поперечными наружными стенами;

– неравномерная осадка фундаментов здания привела к значительным деформациям конструкций каркаса, повреждению наружных стен и перегородок.

Конструкция усиления железобетонного каркаса

В процессе разработки проекта усиления здания служебно-бытового блока были рассмотрены несколько вариантов технических решений из известных способов усиления [13,15]. В качестве окончательного, исходя из различных критериев технического и технологического характера, был принят вариант с опиранием колонн и фундаментных балок по оси «26» на независимый ленточный фундамент и расположением его между осями «26» и «27» в непосредственной близости к фундаментной плите производственного корпуса (рисунок 3). Отметка подошвы ленточного фундамента назначена равной отметке подошвы фундаментной плиты производственного корпуса. Выбор ленточного фундамента обоснован стремлением максимально приблизить центральную ось фундамента к оси «26» колонн здания служебно-бытового блока.

Дополнительный ленточный фундамент имеет перевернутую Т-образную форму поперечного сечения с уширениями в местах опирания рамных конструкций усиления. Ширина фундамента была определена расчетом. Для опирания фундаментных балок и предотвращения повышения уровня нормальных контактных напряжений под подошвой ленточного фундамента, на краевых участках конструкции были предусмотрены выступы фундамента за пределы габаритного размера длины здания.

Передача усилий с колонн по оси «26» на дополнительный фундамент осуществляется через конструкции металлических рам, жестко закрепленных к колоннам по осям «26» и «27», и соответствующим ригелям. Стержни рамы усиления приняты из металлической квадратной трубы, площадь поперечных сечений которой определена расчетом.

Для расчета каркаса здания и конструкции усиления был использован программный комплекс SCAD Office 21.1. Расчетные схемы представлены на рис. 4 а, б. В задачи расчетного анализа входили следующие:

– проверка принятых сечений элементов усиления, ширины подошвы дополнительного фундамента;

- определение перераспределения силовых потоков в несущих конструкциях здания и основании после включения в работу конструкции усиления;
- выявление целесообразности включения в конструкцию усиления дополнительных устройств (домкратов) для поэтапной передачи усилий на новый фундамент;
- расчетный анализ здания на особые воздействия, вызванные удалением из каркаса здания одной из колонн или элементов рамной конструкции усиления, с проверкой здания на прогрессирующее разрушение как в процессе выполнения работ по усилению, так и во время эксплуатации здания.

Рисунок 3 — Конструкция усиления здания

а)

б)

в)

Рисунок 4 — Схема расположение существующих и дополнительного фундаментов здания (а), эпюры осадок фундамента в сечениях 1-1, 2-2, 3-3 соответственно (б) и эпюры усилий в элементах каркаса здания и усиления (в)

Было выполнено четыре варианта расчета:

- одностадийный расчет здания с конструкцией усиления;
- поэтапный расчет, предусматривающий такие стадии, как: расчет в существующем состоянии с сверхнормативной осадкой фундамента по оси «28» (осадка задавалась путем подбора площади условных фундаментов по данной оси для достижения величины существующей осадки); включение конструкции усиления и выключение фундаментов по оси «27»;
- поэтапный расчет аналогичный предыдущему, но с заданием предварительной осадки дополнительному фундаменту (в реальных условиях эта схема реализуется за счет временных домкратов, устанавливаемых между металлическими рамами и новым фундаментом);
- расчет здания без конструкции усиления на прогрессирующее разрушение с выключением из работы одной из колонн первого этажа по оси «26». Такая ситуация в реальных условиях возможна при выполнении работ по демонтажу конструкции пола и перегородок перед монтажом конструкции усиления;
- расчет каркаса здания на прогрессирующее разрушение с выключением из работы наиболее нагруженных колонн по оси «28» с учетом динамических догрузений [11,12].

Схема расположения фундаментов, результаты расчета осадки и усилий в конструкциях здания по первому варианту расчета представлены на рисунке 4. В результате расчета по первому варианту с использованием критериев [16] установлено, что максимальная осадка фундаментов составляет 19.57 мм, что значительно меньше предельно допустимой осадки, равной 100 мм согласно нормам [17,18,19]. Относительная максимальная разность расчетных значений осадок $\Delta s/L = 1.42$ мм/м так же не превышает предельно допустимую $\Delta s/L = 2$ мм/м.

По результатам расчета с целью технологической унификации сечения всех раскосов рам рекомендовано принять из металлической профилированной трубы сечением 200х6 мм. При этом расчетный коэффициент запаса у самого напряженного стержня рамы составил 18%.

По результатам расчета каркаса здания при самых невыгодных загрузениях следует отметить значительные перемещения узлов ригеля верхнего этажа здания оси «27». Абсолютная максимальная величина этого перемещения по Z составила 31.48 мм.

Рисунок 5 — Расчетная схема каркаса здания (а) и конструкций усиления (б)

Результаты расчета по второму и третьему вариантам, в части осадок фундаментов, существенно не отличались от результатов первого расчета. Вместе с тем установлено, что предложенный вариант использования временных домкратов, между металлическими рамами и новым фундаментом позволяет более полно включить дополнительный фундамент в работу, повысить коэффициент загрузки конструкции усиления, уменьшить имеющиеся неравномерные деформации здания, а также снизить перемещения узлов ригеля верхнего этажа здания и всех других узлов каркаса здания по оси «27».

Расчет поврежденного здания служебно-бытового блока без конструкции усиления на прогрессирующее обрушение, выполненный с выключением из работы одной из колонн (вариант 4), выявил возможность разрушения блока в процессе работ по восстановлению. Поэтому в случае принятия такого варианта усиления должна быть детально проработана технологическая схема производства этих работ.

Расчет здания по требованиям СП 385.1325800.2018 на удаление одной из несущих колонн первого этажа показал, что требования особого предельного состояния для запроектированного каркаса здания без дополнительной защиты не обеспечиваются. Поэтому при проектировании усиления рассматриваемого объекта необходимо запроектировать дополнительные конструктивные решения по защите здания от прогрессирующего обрушения.

Выводы

1. Разработанная система усиления конструкции здания позволяет предотвратить дальнейшие деформации и разрушение здания СББ путем переопирания колонн по оси «26» на новый ленточный фундамент.

2. Для обеспечения совместной работы конструкции усиления с основной системой здания целесообразно включение домкратов между системой усиления и дополнительным фундаментом для включения конструкции фундамента в работу и уменьшения деформаций конструкций здания.

3. Перед устройством конструкции усиления каркасных зданий целесообразно выполнение расчета на прогрессирующее обрушение. Это позволит разработать мероприятия по безопасности производства работ при монтаже конструкций усиления, а также внести коррективы в проект усиления для обеспечения устойчивости здания к прогрессирующему разрушению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Боровских А.В. Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений. М.: ИД Русанова, 2000. 144 с.
2. Плевков В.С., Балдин И.В., Гончаров М.Е. Восстановление несущей способности железобетонного каркаса кардиологического центра в г. Кемерово // Наука и безопасность. 2011. № 1(9). С. 31-36.
3. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов А.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А., Смоляго Е.Г. Оценка остаточного ресурса несущей способности сборных безбалочных железобетонных перекрытий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6(69). С. 66-73.
4. Tsvetkov R., Shardakov I., Shestakov A., Gusev G., Epin V. Deformation monitoring of load-bearing reinforced concrete beams // Procedia Structural Integrity. 2017. Vol. 5. Pp. 620-626.
5. Баранова Т.И., Гучкин И.С., Артющин Д.В., Попов Д.В. Инженерные методы восстановления поврежденных конструкций в период строительства железобетонных каркасных зданий // Региональная архитектура и строительство. 2008. №2. С. 32-34.
6. Федорова Н. В., Губанова М. С. Расчетный анализ железобетонного составного ригеля панельно-рамного каркаса многоэтажного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. N 9. С. 86-92
7. Ramesh M., Kuklik P., Válek M. Several comments on Numerical Modeling of Shallow Foundations // Procedia Engineering. 2017. Vol. 195. Pp. 73-80.
8. Плевков В.С., Мальганов А.И., Балдин И.В. Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций инженерных сооружений. Томск: ТГАСУ, 2011. 313 с.
9. Мальганов А.И., Плевков В.С. Восстановление и усиление ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений. Томск: «Печатная мануфактура», 2002. 390 с.
10. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 8-13.

11. Saffari H., Javad Mashhadi J. Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures // *Engineering Failure Analysis*. 2018. 84. Pp. 300–310
12. Колчунов В.И., Осовских Е.В., Алькади С.А. Деформирование железобетонных пространственных конструкций многоэтажных зданий в запредельных состояниях // IV Крымская Международная научно-практическая конференция «Методология безопасности среды жизнедеятельности»: тезисы докладов. Симферополь: КАФУ, 2017. С. 43-44.
13. Голышев А.Г., Кривошеев П.И., Козелецкий П.М. Усиление железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований. К.: Логос, 2004. 217 с.
14. Motra H.B., Stutz H., Wuttke F. Quality assessment of soil bearing capacity factor models of shallow foundations // *Soils and Foundations*. 2016. Volume 56. Issue 2. Pp. 265-276
15. Mandy Korff. Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soils. 1001307-004-GEO-0002, Version 02, 26 November 2009, Deltares, 2009, 143 p.
16. Чунюк Д.Ю., Сергеев С.А. Оценка использования метода конечных элементов при усилении фундаментов реконструируемых зданий // В мире научных открытий. 2014. №2. С. 1-7.
17. EN 1997-1 (2004) (English): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. Final draft. 2004
18. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2019.
19. Zhang, L. M. and Ng, A. M. Y. Probabilistic limiting tolerable displacements for serviceability limit state design of foundations // *Geotechnique*. 2005. 55(2). Pp. 151-161.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Borovskikh A.V. Iznos, povrezhdeniya i bezopasnost' zhelezobetonnykh sooruzheniy [Depreciation, damage and safety of reinforced concrete structures]. Moscow: Publishing of Rusanov, 2000. 144 p.
2. Plevkov V.S., Baldin I.V., Goncharov M.Ye. Vosstanovleniye nesushchey sposobnosti zhelezobetonnoy karkasa kardiologicheskogo tsentra v g. Kemerovo [The restoration of the bearing capacity of the reinforced concrete frame of the cardiology center in the city of Kemerovo]. *Nauka i bezopasnost'*. 2011. 1(9). Pp. 31-36.
3. Smolyago G.A., Drokin S.V., Dronov A.V., Belousov A.P., Pushkin S.A., Smolyago Ye.G. Otsenka ostatoch-nogo resursa nesushchey sposobnosti sbornikh bezbalochnykh zhelezobetonnykh perekrytiy [Estimation of the residual resource of the bearing capacity of prefabricated beam-free reinforced concrete floors]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No 6(69). Pp. 66-73.
4. Tsvetkov R., Shardakov I., Shestakov A., Gusev G., Epin V. Deformation monitoring of load-bearing reinforced concrete beams. *Procedia Structural Integrity*. 2017. Vol. 5. Pp. 620-626.
5. Baranova T.I., Guchkin I.S., Artyushin D.V., Popov D.V. Inzhenernyye metody vosstanovleniya povrezhdennykh konstruktsey v period stroitel'stva zhelezobetonnykh karkasnykh zdaniy [Engineering methods for the restoration of damaged structures during the construction of reinforced concrete frame buildings]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2008. No 2. Pp. 32-34.
6. Fedorova N. V., Gubanova M. S. Raschetnyy analiz zhelezobetonnoy sostavnoy rigelya panel'no-ramnogo karkasa mnogoetazhnogo zdaniya [Calculation analysis of the reinforced concrete composite crossbar of the panel-frame frame of a multi-storey building]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2018. No 9. Pp. 86-92
7. Ramesh M., Kuklik P., Válek M. Several somments on Numerical Modeling of Shallow Foundations. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 195. Pp. 73-80.
8. Plevkov V.S., Mal'ganov A.I., Baldin I.V. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya, vosstanovleniye i usileniye stroitel'nykh konstruktsey inzhenernykh sooruzheniy [Assessment of the technical condition, restoration and strengthening of building structures of engineering structures]. Tomsk: TGASU, 2011. 313 p.
9. Mal'ganov A.I., Plevkov V.S. Vosstanovleniye i usileniye ograzhdayushchikh stroitel'nykh konstruktsey zdaniy i sooruzheniy [Restoration and strengthening of building envelopes of buildings and structures]. Tomsk: "Pechatnaya manufaktura", 2002. 390 p.
10. Kodysh E.N., Trekin N.N., Chesnokov D.A. Zashchita mnogoetazhnykh zdaniy ot progressiruyushchego ob-rusheniya [Protection of multi-storey buildings from progressive collapse]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2016. No 6. Pp. 8-13.
11. Saffari H., Javad Mashhadi J. Assessment of dynamic increase factor for progressive collapse analysis of RC structures. *Engineering Failure Analysis*. 2018. 84. Pp. 300–310
12. Kolchunov V.I., Osovskikh Ye.V., Al'kadi S.A. Deformirovaniye zhelezobetonnykh prostranstvennykh konstruktsey mnogoetazhnykh zdaniy v zapredel'nykh sostoyaniyakh [The deformation of reinforced concrete spatial structures of multi-storey buildings in transcendental conditions]. Proc. Of IV Crimean Int. Scientific and Techn. Conf. "Metodologiya bezopasnosti sredy zhiznedeiyatel'nosti" ["Methodology for the Safety of the Living Environment"]. Simferopol: KAFU, 2017. Pp. 43-44.
13. Golyshhev A.G., Krivosheyev P.I., Kozeletskiy P.M. Usileniye zhelezobetonnykh konstruktsey proizvodstvennykh zdaniy i prosadochnykh osnovaniy [Reinforcement of reinforced concrete structures of industrial buildings and subsidence foundations]. Kyiv: Logos, 2004. 217 p.
14. Motra H.B., Stutz H., Wuttke F. Quality assessment of soil bearing capacity factor models of shallow foundations. *Soils and Foundations*. 2016. Volume 56. Issue 2. Pp. 265-276