

Сравнение технико-экономических показателей монолитных зданий стеновой и каркасной конструктивных схем при расчетах на прогрессирующее обрушение

Е.Е. Каргина, В.Н. Аксенов

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрен расчет многоэтажного монолитного здания стеновой конструктивной схемы на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Произведены расчеты здания для различных условий эксплуатации: нормальные и экстремальные (аварийное воздействие — разрушение части несущих стен первого этажа). Даны рекомендации по защите здания при аварийных воздействиях. Определено, что для зданий с перекрестно-стеновой системой целесообразным методом защиты от прогрессирующего обрушения является метод резервирования прочности несущих элементов. Увеличение стоимости материалов при этом составляет около 2 %. Сравнение технико-экономических показателей зданий стеновой и каркасной конструктивных схем показало, что стоимость защиты от прогрессирующего обрушения у зданий со стеновой конструктивной схемой значительно ниже, чем у каркасных.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, аварийное воздействие, резервирование прочности, перекрестно-стеновая конструктивная схема, Лира-САПР, расчётная модель здания.

Введение. В наши дни все большее значение приобретают вопросы предотвращения прогрессирующего разрушения многоэтажных зданий. Прогрессирующее разрушение (далее по тексту ПО) сопровождается тяжелыми экономическими и общественными последствиями. По этой причине возникает вопрос о необходимости разработки методик расчета, рекомендаций по защите монолитных зданий от прогрессирующего обрушения.

Обеспечение безопасности жизни людей является главной целью расчета. Огромные потери в случае разрушений и в результате взрывов от терактов, бытовых взрывов и в результате крупных аварий могут быть сокращены, если обеспечить достаточную устойчивость от прогрессирующего обрушения. В статье решены задачи повышения устойчивости здания при аварийных воздействиях, сравнены технико-

экономические показатели зданий стеновой и каркасной конструктивных схем при расчетах на прогрессирующее обрушение.

В большинстве случаев удаление одной из несущих конструкций приводит к перегрузке соседних, вызывая тем самым прирост напряжений, превышающих их несущую способность [1]. Основное средство защиты зданий от прогрессирующего обрушения — резервирование прочности несущих элементов, обеспечение необходимой несущей способности колонн, ригелей, диафрагм, дисков перекрытий и стыков конструкций (ТСН 31-332-2006. Жилые и общественные высотные здания). Данный способ представляет собой прямой подход к защите конструкций от прогрессирующего обрушения. Суть способа заключается в значительном увеличении расхода арматуры (вплоть до двукратного) [2]. Также рассматриваемый способ позволяет использовать новые технические решения, например, преднапряжение арматуры [3,4] или армирование композитными материалами [5,6].

Если часть несущих стен обрушится, то перекрытие, для которого эта часть стен является опорой, обрушиться не должно [7]. Прогиб перекрытия и величины раскрытия трещин не ограничиваются. Для того чтобы произвести резервирование прочности, нужно устанавливать дополнительное армирование вертикальных несущих конструкций и горизонтальных – плит перекрытий.

Объект расчета. В качестве примера при расчете на ПО был выбран объект - 24-х этажное жилое здание стеновой конструктивной схемы в г. Краснодар. Здание монолитное железобетонное с подвалом, запроектировано по перекрестно-стеновой схеме с несущими монолитными железобетонными стенами (рис. 1).

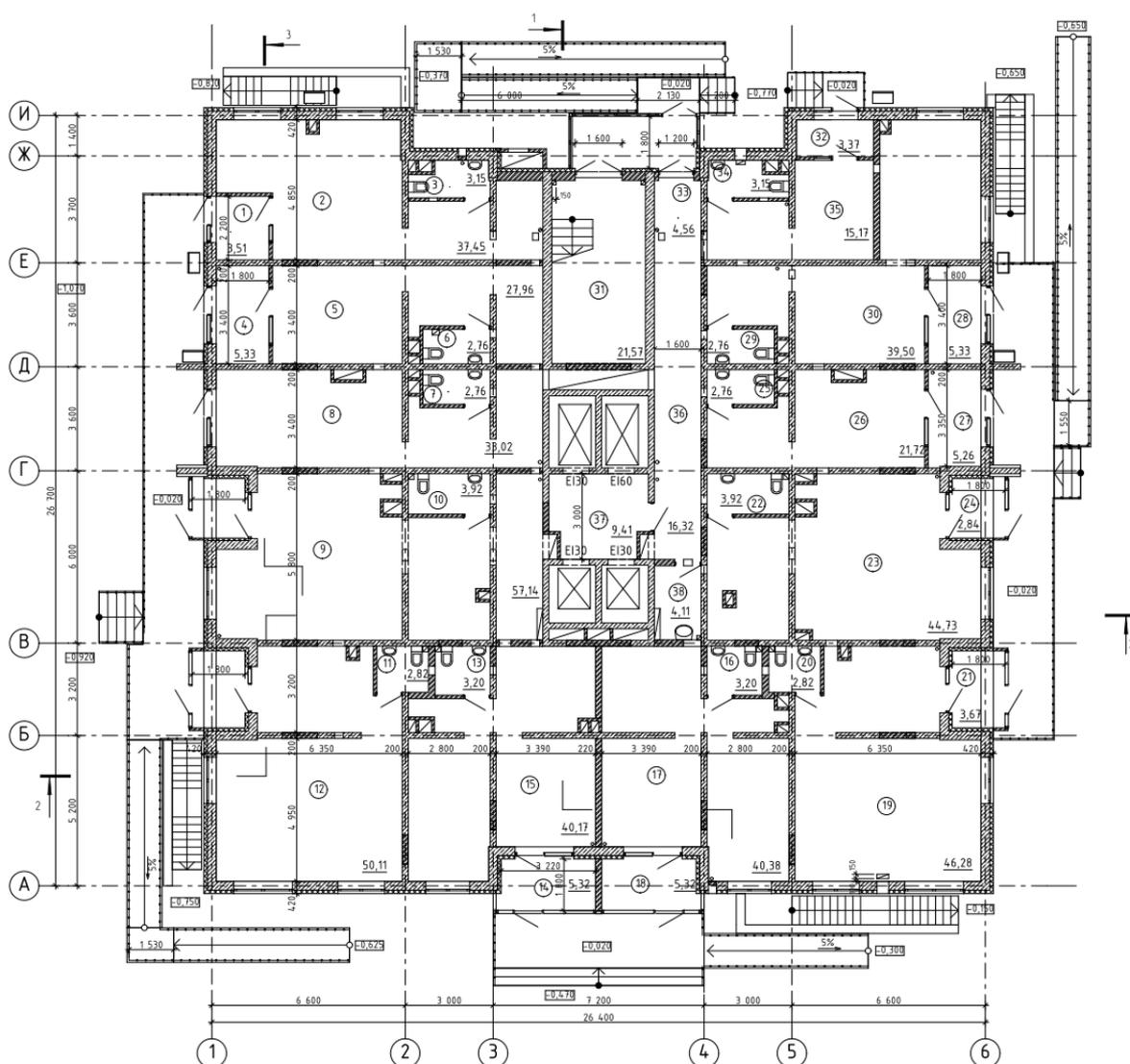


Рис. 1. – План жилого здания на отм. 0.000 по адресу ул. Автолюбителей, 1/Д, г. Краснодар.

Размеры здания в плане: 26,4x26,7 м (в осях) и по высоте 73,8 м (верх парапета) выше уровня чистого пола первого этажа. Толщина наружных стен по периметру здания 300 мм до отметки +21,800 и 200 мм выше, а внутренних стен 200 мм по всей высоте здания. Железобетонные монолитные перекрытия и покрытия запроектированы толщиной 200 мм. Высота подвала 3,1 м. Высота первого этажа 3,9 м. Высота типовых этажей 3 м.

Создание и расчет конечноэлементных моделей в программном комплексе (ПК) «Лира-САПР». Расчётная модель здания представляет

собой пространственную комбинированную пластинчато-стержневую схему. Оболочечные конечные элементы приняты преимущественно квадратной формы, как наиболее точные с точки зрения расчётного процессора [8,9].

В рамках представленной работы выполнено два расчета. Первый - на нормальные условия эксплуатации 24-х этажного здания. Учитывались постоянные и временные, длительные и кратковременные нагрузки.

Второй расчет - на экстремальные условия эксплуатации, т. е. на особое предельное состояние, соответствующее аварийному воздействию (разрушение части несущих стен первого этажа). Учитывались постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций (Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях; рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения). Расчетные прочностные и деформационные характеристики материалов принимались равными их нормативным значениям, согласно действующим нормам проектирования железобетонных конструкций.

Для проверки на устойчивость от прогрессирующего разрушения первым расчётом были определены наиболее уязвимые элементы для аварийных воздействий. В итоговом расчёте рассмотрена наиболее опасная схема разрушения от запроектных воздействий.

Первый этаж здания проектируется под нежилые помещения. Основная часть площади этого этажа будет использоваться под торгово-офисные помещения, что подразумевает большую проходимость и открытый доступ. Исходя из этого, можно предположить, что первый этаж наиболее подвержен рискам, связанным с терроризмом. В данном случае, при удалении элементов с плана этажа на отм. -0,100, рассматривается ситуация выхода из строя наиболее нагруженной части стены под действием взрыва (подрыва) или, к примеру, от разрушения из-за неблагоприятного стечения обстоятельств и

имеющихся ошибок проектирования, дефектов строительства и действия запроектных воздействий. По расчету наиболее нагружена часть стен с сечением 300 мм в осях Д-Ж/3-4. Наиболее уязвимыми для аварийных воздействий можно считать именно эту часть стен, поэтому для них моделируем разрушение. Зоны локального разрушения определены кругом согласно СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения». Высота здания составляет 73,8 м, что менее 75 м, следовательно, площадь круга должна быть не менее 28 м^2 (диаметр 6,0 м). В данном случае зона локального разрушения принята в виде окружности площадью $48,13 \text{ м}^2$ (диаметр 7,83 м). Часть несущих стен в осях Д-Ж/3-4, выделенная красным цветом на рис. 2, удалялась из расчетной схемы.

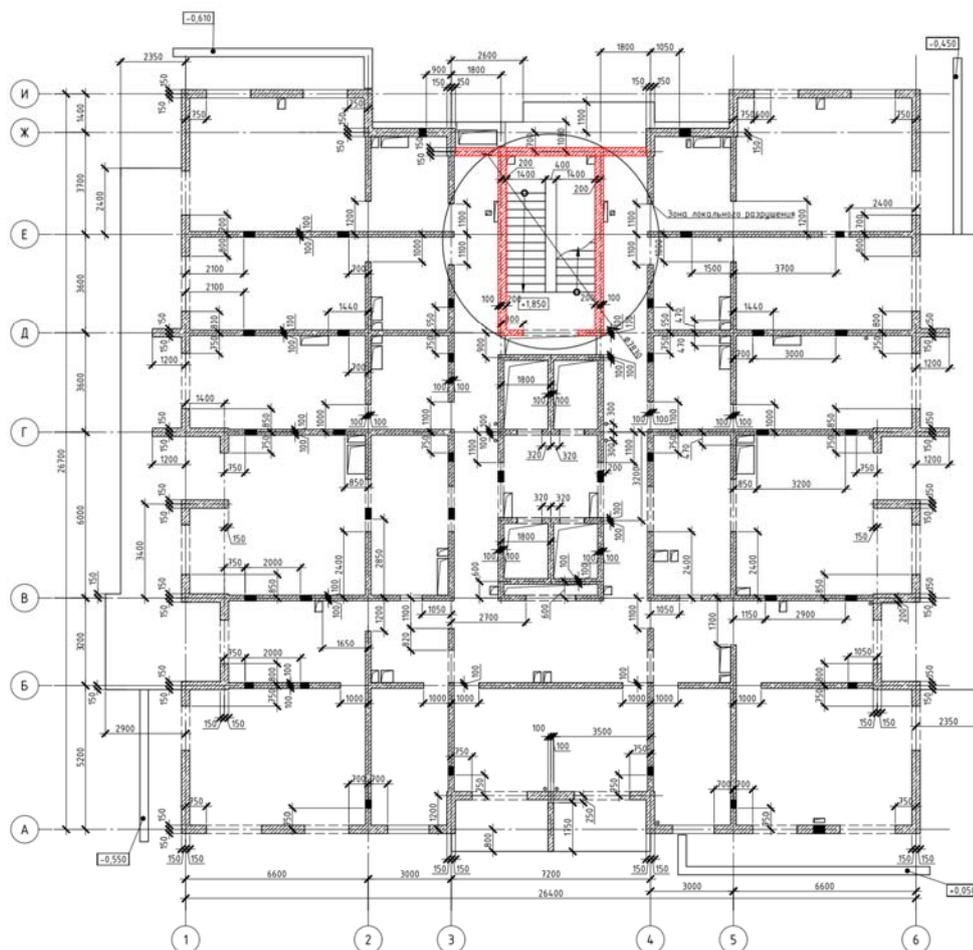


Рис. 2. – Зона локального разрушения несущих конструкций на отм. -0,100.

Сравнение результатов расчета. В результате расчетов было установлено количество арматуры, необходимое для первого и второго случая расчёта. В качестве метода защиты здания от ПО применяется резервирование прочности.

Сравним значения вертикальных перемещений плит перекрытий при первом и втором расчете. Максимальное значение вертикального перемещения плит перекрытий в первом случае составляет 53,4 мм, во втором 54,1 мм. Деформативность плит перекрытия увеличивается незначительно. Это происходит благодаря тому, что стены, расположенные выше разрушенных, работают как консольные балки, удерживая участок перекрытия над разрушенными стенами за счёт работы на растяжение.

Сравним значения вертикальных прогибов плит перекрытия в первом и втором расчете (рис. 3). После удаления части несущих стен увеличился прогиб плит перекрытия в осях Д-И/3-4. В первом расчете на отм.+3.800 он составлял 1,1 мм, во втором 7 мм. Так для данного участка плиты перекрытия пролетом 7,2 м максимально допустимый прогиб составляет $l/200 = 7200/200 = 36$ мм. Следовательно, в обоих случаях расчета соблюдается условие предельно допустимого прогиба.

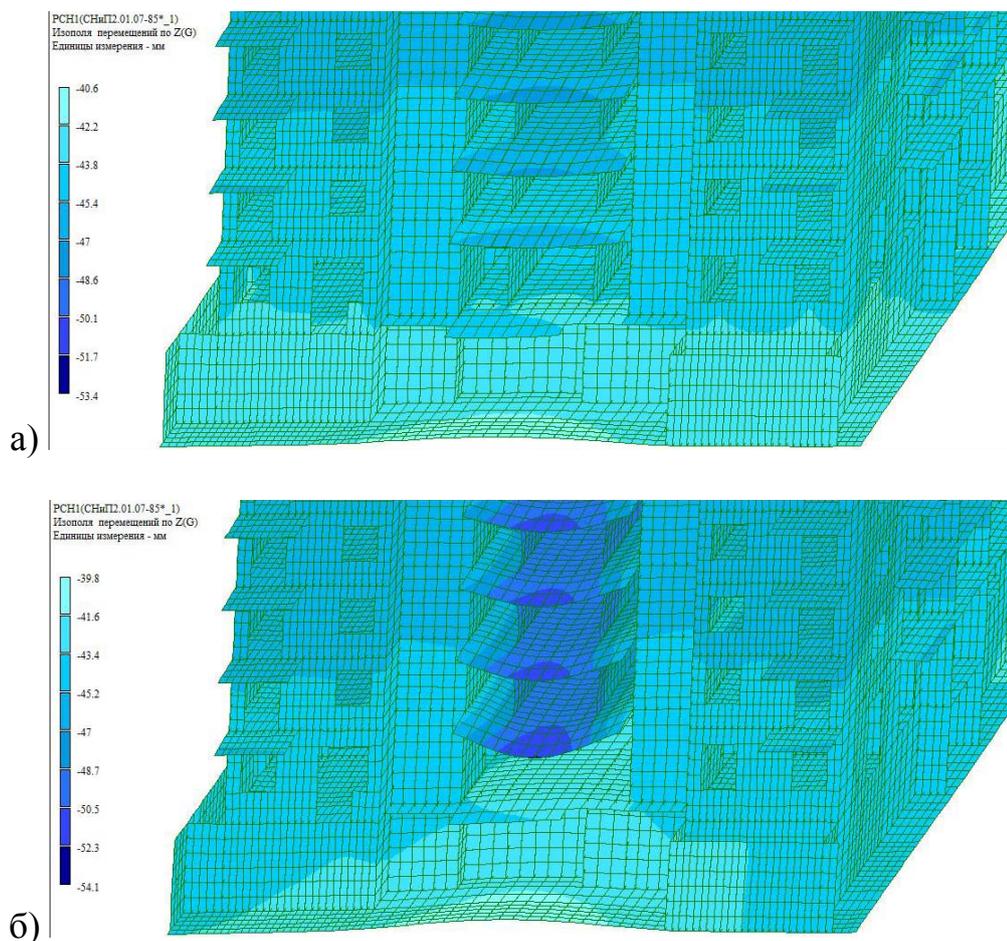


Рис. 3. Вертикальные прогибы плит перекрытия:
а) до удаления части несущих стен; б) после удаления.

Расчеты 24-х этажного здания стеновой конструктивной схемы показали, что для защиты от ПО таким методом как резервирование прочности необходимо увеличить расход арматуры на 9,6 % (табл. 1). Однако, увеличение общей стоимости материалов (Прайс-лист на бетон В25 (М350) по состоянию на март 2020 г. ООО «БЕТОН-ЮГ»; прайс-лист на арматуру А500С по состоянию на март 2020 г. ООО «Сталь-Инвест») незначительно – только на 1,96 %. Это говорит о том, что в зданиях с перекрестно-стеновой конструктивной схемой для защиты от прогрессирующего обрушения экономически эффективным и целесообразным является метод резервирования прочности.

Сравним результаты с аналогичными, но полученными для монолитных каркасных зданий. Из открытых источников были взяты результаты расчета 9-этажного каркасного жилого дома [10]. В качестве метода его защиты от ПО был также применён метод резервирования прочности. Из табл. 1 видно, что у каркасного здания увеличивается расход арматуры на 38,47 %, в то время как у здания стеновой конструктивной схемы на 9,6 %, общая стоимость материалов каркасного здания увеличивается на 9,72 %, стеновой конструктивной схемы на 1,96 %.

Таблица № 1

Технико-экономические показатели 24-х этажного здания стеновой конструктивной схемы и 9-этажного каркасного здания при защите их от ПО

Расчет	Показатель	Ед. изм.	24-х этажное здание стеновой конструктивной схемы	9-этажное каркасное здание
Стандартный	Бетон В25	м3	9830	1041
	Арматура А500С	т	199,39	38,24
	Стоимость бетона В25	тыс. руб.	29490	5153,1
	Стоимость арматуры А500С	тыс. руб.	7562	
	Деформативность	мм	53,4	-
С учетом аварийного воздействия	Бетон В25	м3	9830	1041
	Арматура А500С	т	218,56	52,95
	Стоимость бетона В25	тыс. руб.	29490	5 653,96
	Стоимость арматуры А500С	тыс. руб.	8289	
	Деформативность	мм	54,1	-

Из сравнения делаем вывод о том, что стоимость защиты от ПО у зданий со стеновой конструктивной схемой значительно ниже, чем у каркасных. Это говорит о том, что на этапе проектирования авторам проекта

следует выбирать конструктивную схему не только в зависимости от назначения сооружения, условия стройки, доступности технических и финансовых ресурсов, но и от рассмотренных в статье технико-экономических показателей.

Выводы. Выполнена серия расчетов, по результатам которых определено, что для зданий с перекрестно-стеновой системой целесообразным методом защиты от прогрессирующего обрушения является метод резервирования прочности несущих элементов. Увеличение стоимости материалов составляет около 2 %. Кроме того, даже после локального обрушения, оставшиеся конструкции пригодны для дальнейшей эксплуатации и здание сохраняет эксплуатационную пригодность, так как были учтены все требования расчета по второй группе предельных состояний. Сравнение технико-экономических показателей зданий при расчетах на ПО поможет при проектировании определить эффективную конструктивную схему, опираясь на экономическую эффективность и безопасность здания.

Литература

1. Shekastehband B., Abedi K., Dianat N. Experimental and Numerical Studies on the Progressive Collapse Behavior of Tensegrity Systems // International Journal of Space Structures, United Kingdom, 2014.

URL:researchgate.net/publication/273081084_Experimental_and_Numerical_Studies_on_the_Progressive_Collapse_Behavior_of_Tensegrity_Systems/.

2. Руденко Д.В., Руденко В.В. Защита каркасных зданий от прогрессирующего обрушения // Инженерно-строительный журнал, Санкт-Петербург, 2009, №3. С. 39. URL:engstroy.spbstu.ru/article/2009.5.8/.

3. Чхум А. Эффективность строительства с применением технологии преднапряжения железобетона // Наука и образование сегодня, 2018. URL:

cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-stroitelstva-s-primeneniem-tehnologii-prednapryazheniya-zhelezobetona-1/.

4. Бондаренко В. М. Экспозиция эффективного преднапряжения железобетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2015, №2. URL: cyberleninka.ru/article/n/ekspozitsiya-effektivnogo-prednapryazheniya-zhelezobetonnyh-konstruktsiy/.

5. Polskoy P., Mailyan D., Georgiev S., Muradyan V. The strength of compressed structures with CFRP materials reinforcement when exceeding the cross-section size // E3S Web of Conferences. 33 (2018) 02060 (doi.org/10.1051/e3sconf/20183302060)

6. Фролов Н.В., Полоз М.А., Ноурузи М.Ш. Анализ применения полимеркомпозитной арматуры в армобетонных конструкциях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2017, №3. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-polimerkompozitnoy-armatury-v-armobetonyh-konstruktsiyah/.

7. Russell J., Hajirasouliha I., Owen J. Influence of dynamic effects on a concrete flat slab after a sudden column loss // Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamics EURODYN 2014, At Porto, Portugal URL: researchgate.net/publication/310818494_Influence_of_Dynamic_Effects_on_a_Concrete_Flat_Slab_after_a_Sudden_Column_Loss/.

8. Аксенов Н.Б., Задорожная А.В. Исследование влияния параметров триангуляции в среде ПК САПФИР на результаты расчёта // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4077/.

9. Аксенов Н.Б., Акопян С.А. Анализ влияния параметров сетки конечных элементов на результаты подбора продольной арматуры в монолитном безбалочном перекрытии // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4038/.

10. Холмогорова Т. Н. Вопрос эффективности и целесообразности использования аутригерного этажа для защиты зданий с монолитным каркасом от прогрессирующего обрушения // Сетевой электронный журнал Донского государственного технического университета «Молодой исследователь Дона», Ростов-на-Дону, 2019, №1(16). С. 78-81. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/240/17_KHolmogorova_78_81.pdf.

References

1. Shekastehband B., Abedi K., Dianat N. International Journal of Space Structures, United Kingdom, 2014

URL:researchgate.net/publication/273081084_Experimental_and_Numerical_Studies_on_the_Progressive_Collapse_Behavior_of_Tensegrity_Systems/.

2. Rudenko D.V., Rudenko V.V. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, Saint Petersburg, 2009, №3. P. 39. URL: engstroy.spbstu.ru/article/2009.5.8/.

3. Chkhum A. Nauka i obrazovanie segodnya 2018. URL:cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-stroitelstva-s-primeneniem-tehnologii-prednapryazheniya-zhelezobetona-1/.

4. Bondarenko V. M. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy, 2015, №2. URL:cyberleninka.ru/article/n/ekspozitsiya-effektivnogo-prednapryazheniya-zhelezobetonnyh-konstruktsiy/.

5. Polskoy P., Mailyan D., Georgiev S., Muradyan V. E3S Web of Conferences. 33 (2018) 02060 (doi.org/10.1051/e3sconf/20183302060)

6. Frolov N.V., Poloz M.A., Nouruzi M.Sh. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova, 2017, №3. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-polimerkompozitnoy-armatury-v-armobetonnyh-konstruktsiyah/.

7. Russell J., Hajirasouliha I., Owen J. Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamics EUROLYN 2014, At Porto, Portugal



URL: researchgate.net/publication/310818494_Influence_of_Dynamic_Effects_on_a_Concrete_Flat_Slab_after_a_Sudden_Column_Loss/.

8. Aksenov N.B., Zadorozhnaya A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №2.

URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4077/.

9. Aksenov N.B. Akopyan S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4038/.

10. Kholmogorova T. N. Setevoy elektronnyy zhurnal Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta «Molodoy issledovatel' Dona», Rostov-on-Don, 2019, №1(16), pp. 78-81. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/240/17_KHolmogorova_78_81.pdf.