

Влияние состояния межплитных швов перекрытий на деформативность многоэтажных связевых каркасов

Н.Н. Трекин^{1,2}, А.В. Быбка¹

¹АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий», Москва

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва

Аннотация: В статье представлен практический подход к расчету каркасных зданий из сборного железобетона на основе разработанной методики учета податливости сопряжений между элементами перекрытий и покрытия на основе пластинчато-стержневой модели фрагмента перекрытия. Приводится анализ количественных показателей деформативности и относительных усилий, с понижающими коэффициентами к интегральной жесткости сборного перекрытия в своей плоскости, полученных по предлагаемой методике, в сравнении с классическим подходом расчета сборных каркасов, принимая их жесткость как монолитных перекрытий.

Ключевые слова: многоэтажная каркасная конструктивная система, сборное перекрытие, податливость, горизонтальная нагрузка, шов, стержневая модель, коэффициент эквивалентной жесткости.

Податливость сборных перекрытий при деформировании в своей плоскости от горизонтальных нагрузок приводит к существенному перераспределению усилий в пространственной несущей системе каркасных зданий поскольку прогибы дисков перекрытий в своей плоскости, соизмеримы с прогибами вертикальных диафрагм. Как показано в работах [1-3], податливость сборных перекрытий в основном обеспечивается многочисленными сопряжениями плит между собой и плит с опорными конструкциями. В работах [4-5] показан подход к учету таких сопряжений при оценке совместной работы плит, в том числе при горизонтальных нагрузках. Сложность контроля качества сопряжений связана с их нестабильностью даже в пределах одного сопряжения, а выявить их зачастую затруднительно из-за их малых и стесненных объемов и сложности доступа к ним [6-7]. Также учет работы перекрытий влияет на перераспределение усилий в каркасе, как показано в [8-9]. В работах [10-12] описана предложенная методика определения податливости швов на основе пластинчато-стержневой модели фрагмента перекрытия, состоящей из малодеформируемой плиты и стержневых элементов для меж-

плитных швов. Разработанная методика учета податливости соединений сборных дисков перекрытий была апробирована на нескольких объектах при обследовании зданий, выполненных связевым каркасом из железобетонных конструкций Московского каталога унифицированных промышленных изделий, разработанных Моспроектом.

Для расчетного анализа приняты каркасы из сборных железобетонных элементов 16-этажных зданий симметричный и несимметричный в плане, с разной расстановкой вертикальных элементов жесткости (см. рис. 1-2). Колонны каркаса сечением 40х40 см, ригели таврового сечения с опиранием плит на полки, настил перекрытий из сборных многопустотных плит. В базовом варианте диск перекрытия задавался с полной горизонтальной жесткостью в соответствии с геометрическими размерами, как для монолитного перекрытия. Впоследствии в жесткости дисков учитывалась деформативность швов варьированием коэффициентов эквивалентной жесткости, приведенных в табл. №1.

По результатам сравнительного анализа экспериментальных данных, полученных Семченковым А.С. [13] и Ларионовым С.Г. [14], и их численного моделирования, с использованием данных по определению значений жесткостных параметров швов в сборном перекрытии, приведенных в [12], приняты коэффициенты эквивалентной жесткости сборного перекрытия, приведенные в табл. №1.

Таблица №1

Коэффициенты эквивалентной жесткости сборного перекрытия

№ п/п	Расчетные условия для диска перекрытия	Коэффициент эквивалентной жесткости перекрытия k_{sh}
1.	Продольные швы между плитами не замоноличены	0,05
2.	Продольные швы замоноличены некачественно	0,15
3.	Продольные швы замоноличены полностью	0,25-0,3

4.	Качественное контролируемое замоноличивание всех швов мелкозернистым бетоном В20	0,5
----	--	-----

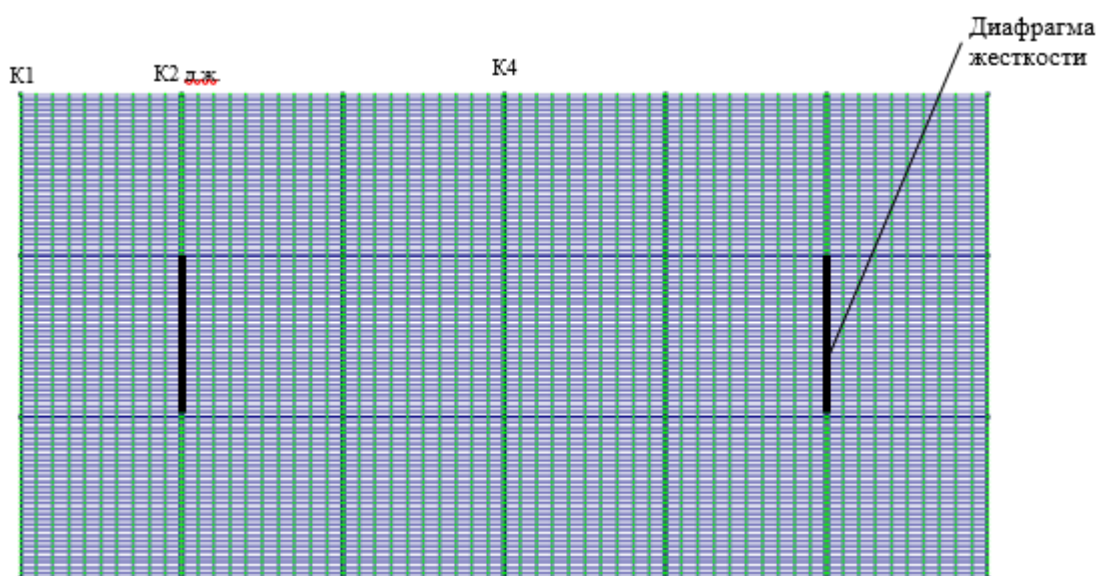
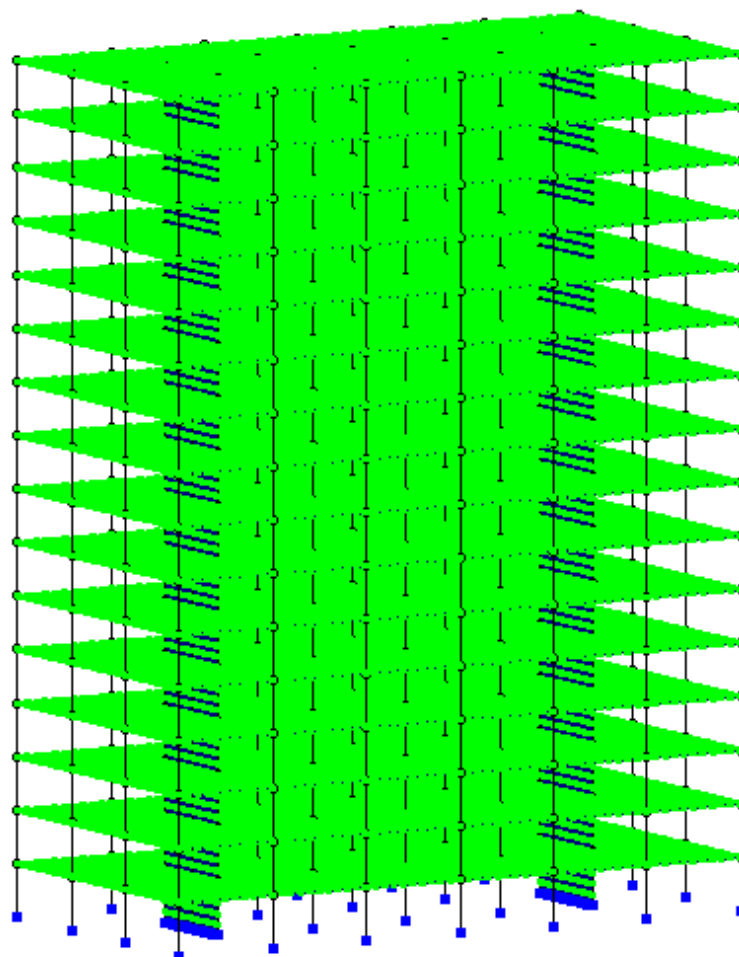


Рис. 1. - Расчетная модель каркаса с размерами в плане 36х18 м симметричного в плане (каркас 1)

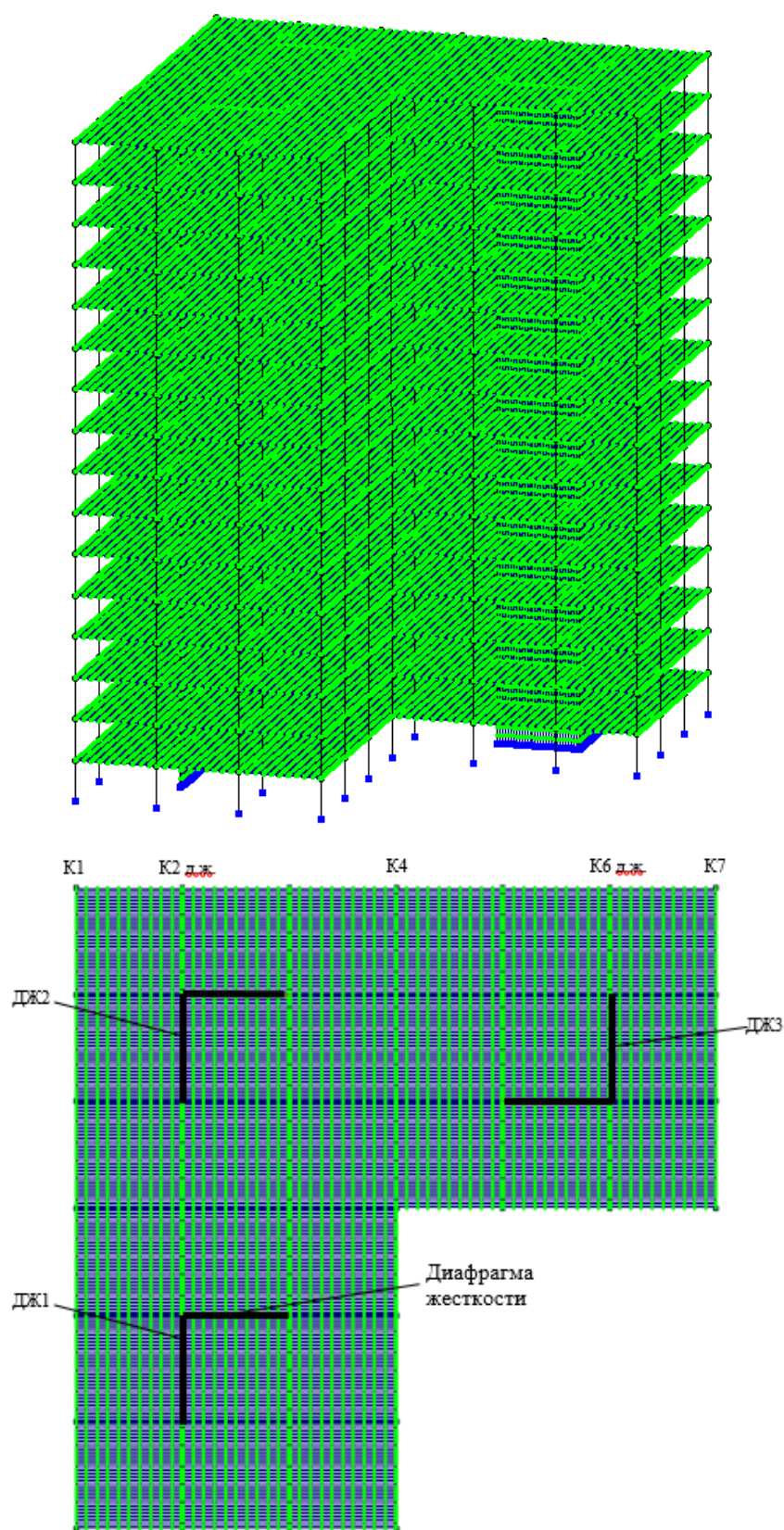


Рис. 2. - Расчетная модель каркаса размером 36х36 м несимметричного в плане (каркас 2)

Качество и полноту заделки швов в дисках перекрытия можно визуаль-но оценить при обследовании, а прочность бетона или раствора замоноличивания определяется инструментально. В зависимости от полученных результатов, при обследовании можно ориентировочно, используя данные табл. №1, принять коэффициент эквивалентной жесткости сборного перекрытия.

На стадии эксплуатации здания коэффициенты эквивалентной жесткости перекрытия располагаются в диапазоне значений от 0,15 до 0,3.

Представленные каркасы рассчитывались на горизонтальную узловую нагрузку, приложенную к колоннам в уровне перекрытий в соответствии с грузовыми площадями наружного ограждения.

По графикам рис. 3-4 относительное увеличение перемещений каркаса при различных коэффициентах редуцирования жесткости по отношению к перемещениям каркаса с монолитными перекрытиями для симметричного в плане каркаса (каркас 1) составило от 22% при качественно замоноличенных всех швах ($k_{sh}=0,5$) до 45% при незамоноличенных продольных швах ($k_{sh}=0,05$). Как видно из графиков прирост перемещений по этажам неодинаков. Для колонн, состоящих в ряду с диафрагмами жесткости, а особенно выражено для колонн в середине дисков перекрытий, увеличение относительных перемещений на нижних этажах (1-2) больше, чем для последующих двух-трех этажей.

Из диаграммы на рис. 5 видно, что с уменьшением жесткости перекрытия вертикальные усилия в колоннах от горизонтальной нагрузки падают и составляют от 50 до 5% от усилий для каркаса с монолитными перекрытиями и в большей степени воспринимаются диафрагмами жесткости. В колоннах, расположенных в середине пролета диска перекрытия между диафрагмами жесткости вертикальные усилия от горизонтальных нагрузок снижаются практически на 100% от первоначальных при жестком перекрытии.

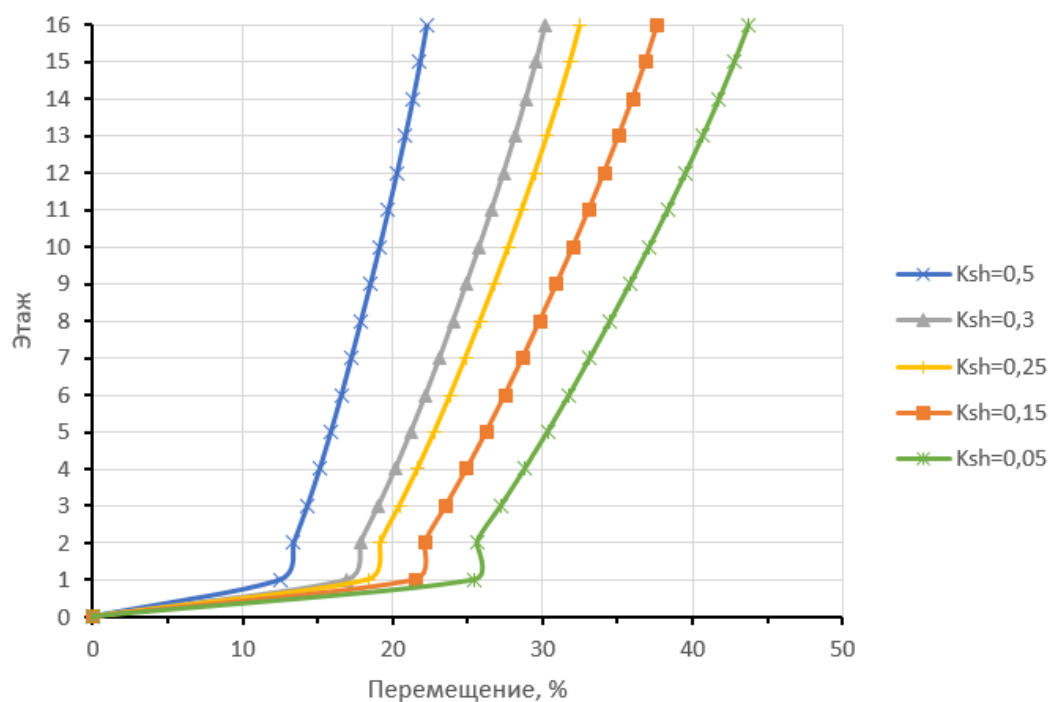


Рис. 3. - График увеличения перемещений каркаса по отношению к монолитному диску перекрытия для колонны K2 (каркас 1)

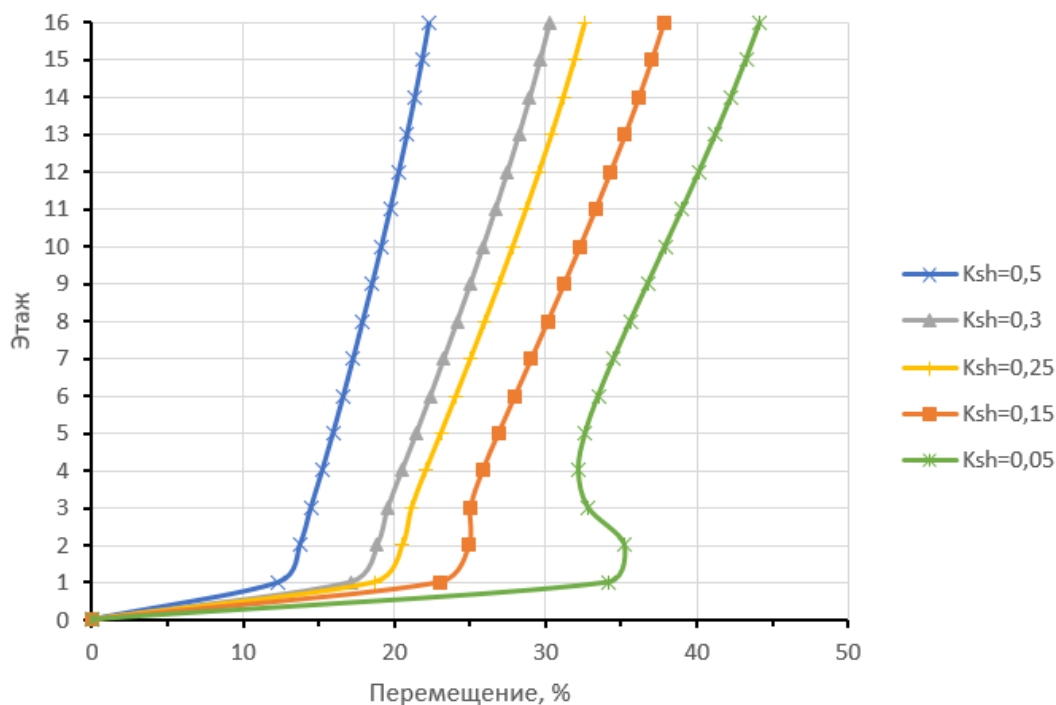


Рис. 4. - График увеличения перемещений каркаса по отношению к монолитному диску перекрытия для колонны K4 (каркас 1)

По диаграмме рис. 6 видно, что моменты в вертикальных элементах жесткости возрастают на 15-25%, что свидетельствует о перераспределении горизонтальных нагрузок на них, в том числе по высоте.

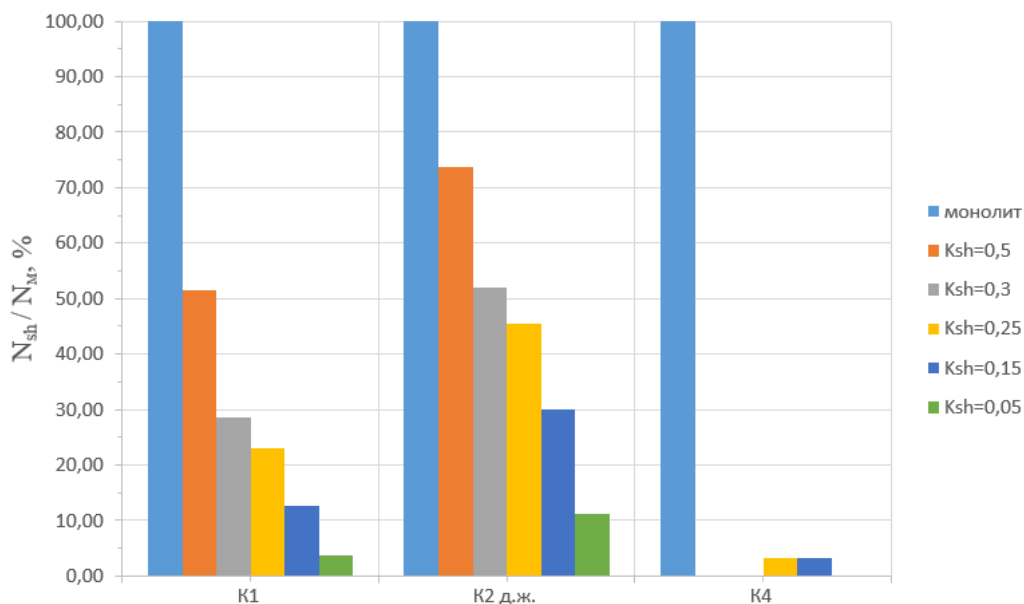


Рис. 5. - Диаграмма относительных усилий N в колоннах каркаса (каркас 1), в % от усилий при монолитных дисках перекрытий

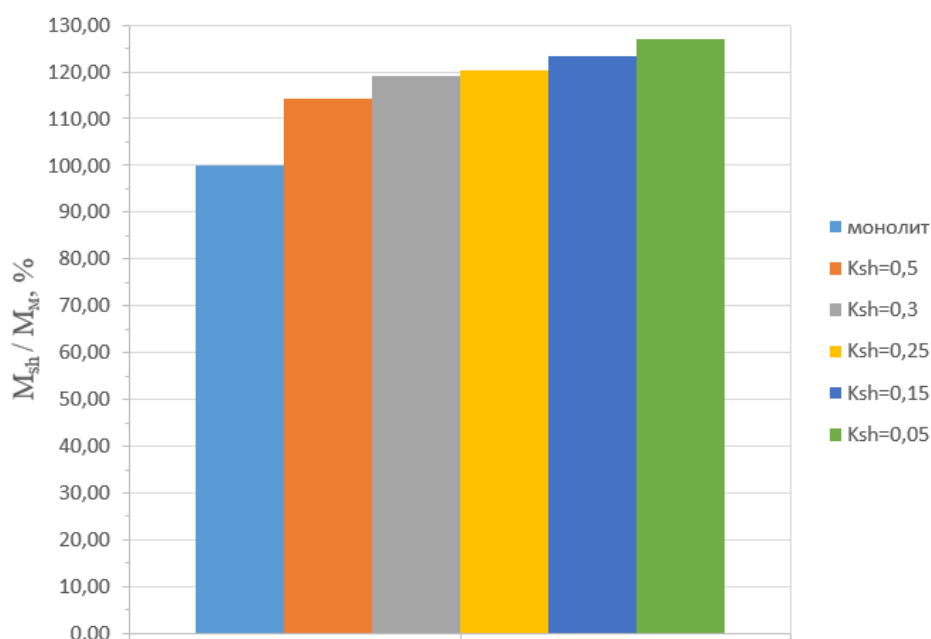


Рис. 6. - Диаграмма относительных моментов M в диафрагмах жесткости каркаса (каркас 1), в % от моментов при монолитных дисках перекрытий

По графикам рис. 7-9 относительное увеличение перемещений каркаса при различных коэффициентах редуцирования жесткости по отношению к перемещениям каркаса с монолитными перекрытиями для несимметричного в плане каркаса (каркас 2) составило от 12% при качественно замоноличенных всех швах ($k_{sh}=0,5$) до 35% при незамоноличенных продольных швах ($k_{sh}=0,05$). Аналогично, как и для симметричного в плане каркаса (каркас 1), прирост перемещений по этажам неодинаков. Для колонн, состоящих в ряду с диафрагмами жесткости, а особенно выражено - для колонн в середине дисков перекрытий, увеличение относительных перемещений на нижних этажах (1-2) больше, чем для последующих двух-трех этажей.

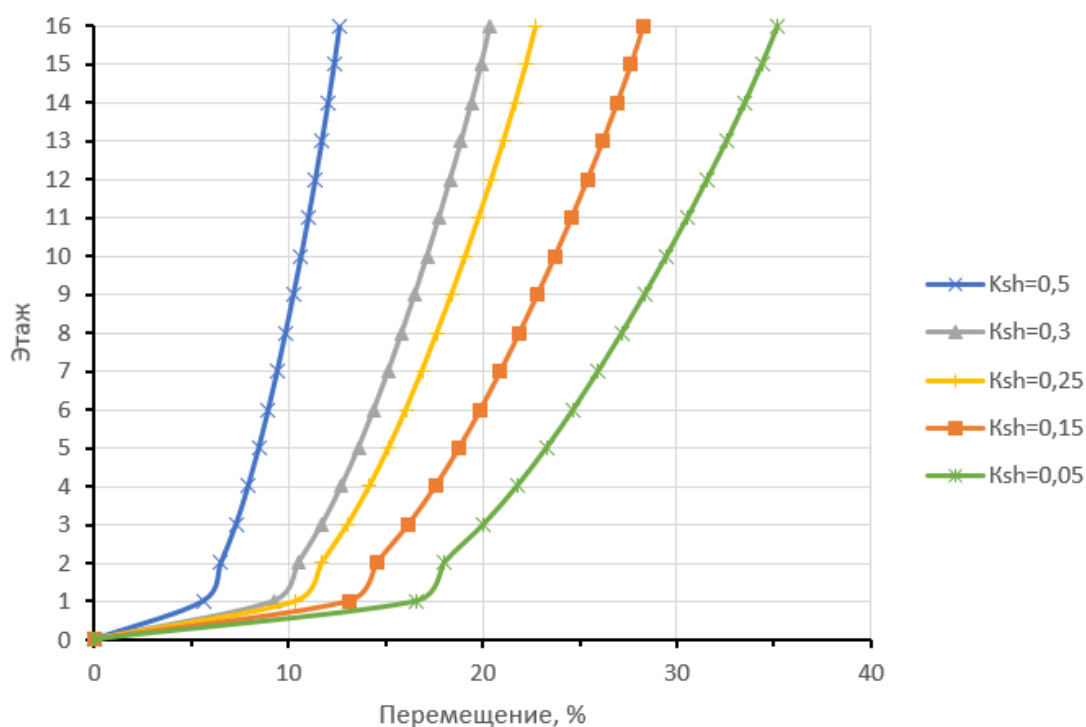


Рис. 7. - График увеличения перемещений каркаса по отношению к монолитному диску перекрытия для колонны K2 (каркас 2)

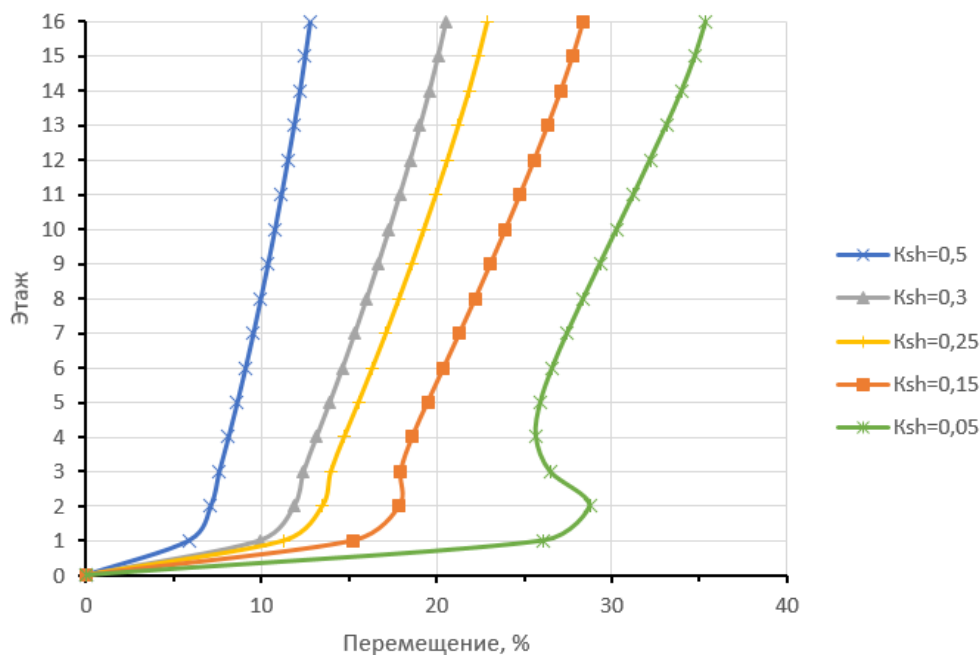


Рис. 8. - График увеличения перемещений каркаса по отношению к монолитному диску перекрытия для колонны К4 (каркас 2)

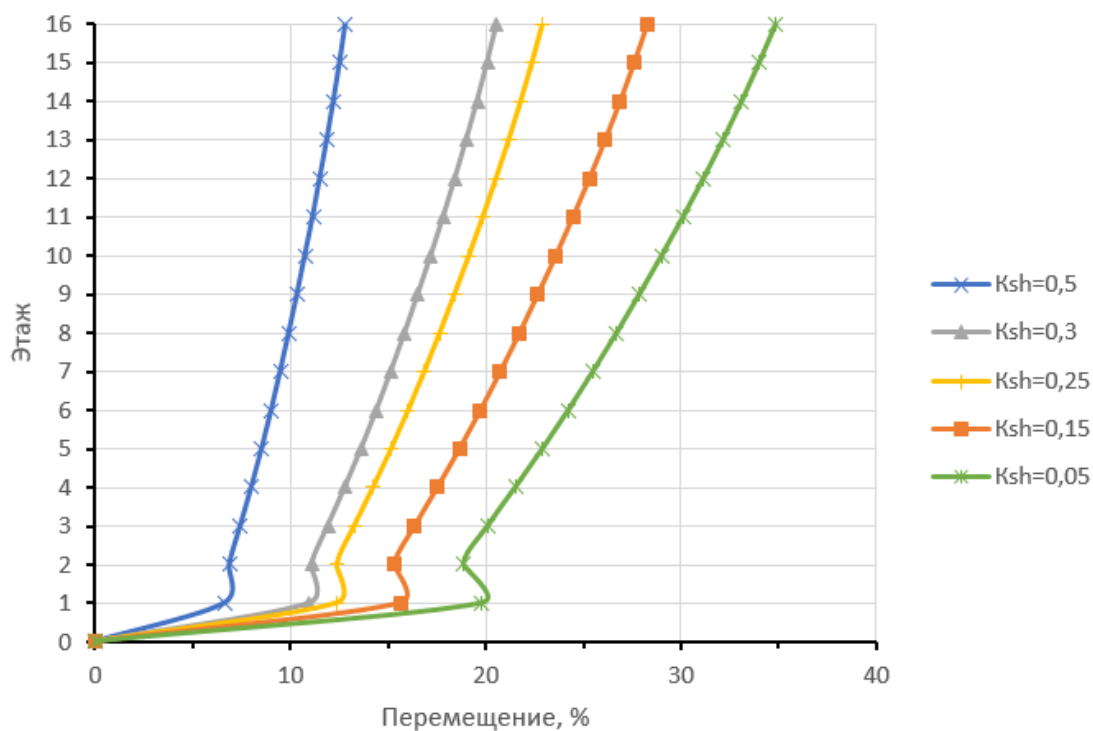


Рис. 9. - График увеличения перемещений каркаса по отношению к монолитному диску перекрытия для колонны К6 (каркас 2)

Из диаграммы на рис. 10 видно, что с уменьшением жесткости перекрытия вертикальные усилия в колоннах от горизонтальной нагрузки падают и составляют от 70 до 10% от усилий в каркасе с монолитным перекрытием и в большей степени воспринимаются диафрагмами жесткости. В крайних колоннах, где ширина диска перекрытия минимальная, снижение усилий меньше, чем в других колоннах и составляют от 90 до 20 % от варианта с монолитным перекрытием.

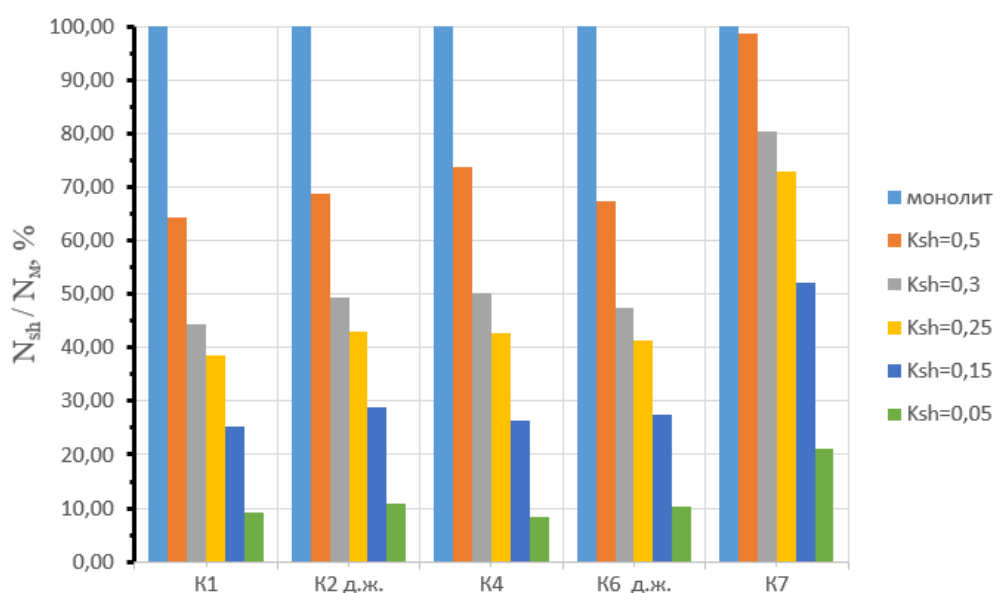


Рис. 10. - Диаграмма относительных усилий N в колоннах каркаса (каркас 2), в % от усилий при монолитных дисках перекрытий

По диаграмме рис. 11 видно, что моменты в вертикальных элементах жесткости возрастают до 20% для ДЖ1 и ДЖ2 и до 80% для ДЖ3, что свидетельствует о перераспределении горизонтальных нагрузок на них, в том числе по высоте.

Резюмируя представленные в статье исследования, можно сделать следующие выводы:

- диски перекрытия из сборных железобетонных плит обладают повышенной деформативностью в своей плоскости за счет податливости межплитных швов. При качественном заполнении межплитных швов и устрой-

ства соединений по связевым плитам расчет изгибной жесткости диска перекрытия в своей плоскости только по геометрическим параметрам приводит к завышенным значениям;

- на стадии эксплуатации здания коэффициенты эквивалентной жесткости перекрытия рекомендуется принимать в диапазоне значений от 0,15 до 0,3;

- результаты расчета каркасов с применением предлагаемой методики показывают, что с уменьшением жесткости перекрытий (приведение к эквивалентной жесткости, учитывающей податливость швов в соединениях перекрытий), уменьшаются вертикальные усилия в колоннах от горизонтальных нагрузок, а моменты в диафрагмах жесткости возрастают на 20 и более процентов.

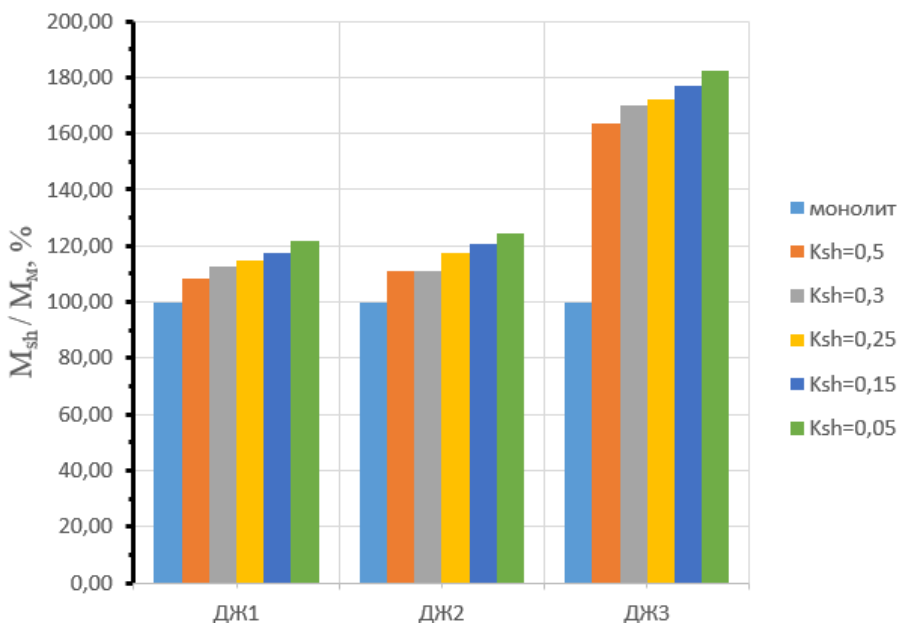


Рис. 11. - Диаграмма относительных усилий M в диафрагмах жесткости каркаса (каркас 2), в % от моментов при монолитных дисках перекрытий

Это указывает на то, что в конструкциях каркаса могут быть выявлены как резервы, так и недостатки несущей способности, что особенно актуально при обследовании и последующей реконструкции зданий с рассматриваемой

конструктивной системой.

Литература

1. Васильков Б.С., Володин Н.М. Расчет сборных конструкций зданий с учетом податливости соединений. М.: Стройиздат, 1985. 144 с.
2. Клевцов В.А., Коревицкая М.Г., Баронас Р.П., Ревентас А.П. Жесткость диска покрытия при натурных испытаниях производственного здания. //Бетон и железобетон. 1991. №10. С.14-16.
3. Клевцов В.А., Коревицкая М.Г., Иозайтис И.Б., Укялис Г.С. Жесткость диска покрытия одноэтажных промышленных зданий при воздействии горизонтальных нагрузок. // Проектирование промышленных предприятий. –М.: Главпромстройпроект. -1971. -№5. -С.14-19
4. Löbel L., Popăescu A. Annales des Travaux Publics de Belgique, №5, 1967. p.33-39
5. Бедов А.И., Чистяков В.А. Строительство и архитектура. Инженерно-теоретические основы строительства. ВНИИС Госстроя СССР, серия 10, вып. 6, Москва, 1984. – С.5-8
6. Трёкин Н.Н. Пространственная работа несущих элементов каркасной системы с учетом нелинейности и податливости узловых сопряжений. Диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук., Москва, ЦНИИ-Промзданий, 2003, 421 с.
7. Зыбин И.К., Сорокина Е.Н. Влияние податливости узлов на живучесть зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, №3, 2024. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9094
8. Щедрин О.С. Определение уровня ответственности железобетонных колонн монолитного многоэтажного каркасного здания // Инженерный вестник Дона, №3, 2024. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9069
9. Байнатов Ж.Б., Багитова С.Ж., Танжариков Б., Даукенова А. Наука и техника Казахстана, 2014, №1-2. С.22-26

10. Trekin Nikolay, Kodysh Emil, Bybka Alexander, Yamalov Alexander and Konkov Nikita. Evaluation of the impact of compliance of precast discs of overlapping on the work of the frame of a multi-storey building // XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019; E3S Web Conf., Volume 97, 2019. doi: doi.org/10.1051/e3sconf/20199704022

11. Trekin Nikolay, Bybka Alexander. Account of compliance of precast disk of overlapping in the calculation of frames // XXVI International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2023), Tashkent city, Republic of Uzbekistan, Edited by Ter-Martirosyan, A.; Bazarov, D.; E3S Web of Conferences, Volume 410, id.02019. doi: doi.org/10.1051/e3sconf/202341002019

12. Быбка А.В., Трекин Н.Н., Никозов А.К. Деформативность межплитных швов в сборных перекрытиях из многопустотных плит //Промышленное и гражданское строительство. 2025, №6, С.58-64. doi: 10.33622/0869-7019.2025.06.58-64

13. Семченков А.С. Пространственно-деформирующиеся сборные железобетонные диски перекрытий многоэтажных зданий. (Экспериментально-теоретич. исследования, практич. методы расчета и проектирование). Дисс. на соиск. уч. степ. д.т.н. - Москва, НИИЖБ, 1992. -407 с.

14. Ларионов С.Г. Исследование прочности и жесткости перекрытий зданий павильонного типа при горизонтальных нагрузках: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01. -Воронеж, 1995. - 189 с.

References

1. Vasil'kov B.S., Volodin N.M. Raschet sbornyh konstrukciy zdaniy s uchetom podatlivosti soedineniy [Calculation of prefabricated building structures taking into account the flexibility of connections]. М.: Stroyizdat. 1985. 144 p.

2. Klevcov V.A., Korevickaya M.G., Baronas R.P., Reventas A.P. Beton i zhelezobeton. 1991. №10. p.14-16

3. Klevcov V.A., Korevickaya M.G., Iozaytis I.B., Ukyalis G.S. Proektirovanie promyshl. predpriyatiy. M.: Glavpromstroyproekt. 1971. №5. p.14-19
4. Löbel L., Popăescu A. Annalex des Travaux Publics de belgique, №5, 1967. p.33-39
5. Bedov A.I., Chistyakov V.A. VNIIS Gosstroya SSSR, seriya 10, vyp. 6, Moskva, 1984. – p.5-8
6. Trekin N.N. Prostranstvennaya rabota nesushchikh elementov karkasnoy sistemy s uchetom nelineynosti i podatlivosti uzlovykh sopryazheniy [Spatial work of load-bearing elements of a frame system taking into account the nonlinearity and flexibility of nodal connections]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni dokt. tekhn. nauk, Moskva, CNIIPromzdaniy, 2003, 421p.
7. Zybin I.K., Sorokina E.N. Inzhenernyj vestnik Dona, №3, 2024. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9094
8. Shchedrin O.S. Inzhenernyj vestnik Dona, №3, 2024. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9069
9. Baynatov Zh.B., Bagitova S.Zh., Tanzharikov B., Daukenova A. Nauka i tekhnika Kazakhstana, 2014, №1-2. p.22-26
10. Nikolay Trekin, Emil Kodysh, Alexander Bybka, Alexander Yamalov and Nikita Konkov. XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019; E3S Web Conf., Volume 97, 2019. doi: doi.org/10.1051/e3sconf/20199704022
11. Trekin Nikolay, Bybka Alexander. XXVI International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2023), Tashkent city, Republic of Uzbekistan, Edited by Ter-Martirosyan, A.; Bazarov, D.; E3S Web of Conferences, Volume 410, id.02019. doi: doi.org/10.1051/e3sconf/202341002019
12. Bybka A.V., Trekin N.N., Nikozov A.K. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2025, №6, p.58-64. doi: [10.33622/0869-7019.2025.06.58-64](https://doi.org/10.33622/0869-7019.2025.06.58-64)
13. Semchenkov A.S. Prostranstvenno-deformirujushhiesja sbornye

zhelezobetonnye diski perekrytij mnogojetazhnyh zdaniy. (Jeksperimental'no-teoretich. issledovanija, praktich. metody rascheta i proektirovanie) [Spatially deformable precast reinforced concrete disks of multi-story building floors. (Experimental and theoretical research, practical calculation methods and design)]. Diss. na soisk. uch. step. d.t.n. Moskva, NIIZhB, 1992. 407 p.

14. Larionov S.G. Issledovanie prochnosti i zhestkosti perekrytij zdaniy pavil'onnogo tipa pri gorizontaľnyh nagruzkah [Study of the strength and rigidity of pavilion-type building floors under horizontal loads]: diss. kand. tehn. nauk: 05.23.01. Voronezh, 1995. 189 p.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 5.12.2025

Дата публикации: 8.01.2026