

## **Анализ влияния конструктивных параметров узла на концентрацию усилий в зонах опирания плоских железобетонных перекрытий на торцы простенков**

*И.К. Манаенков*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** При проектировании плоских железобетонных перекрытий наиболее сложным и ответственным является узел опирания на колонны и простенки. Это обуславливается действием больших сосредоточенных усилий и наибольшей плотностью армирования. Ввиду этого актуален вопрос выбора методик расчета, наиболее точно оценивающих несущую способность на продавливание для таких узлов. С увеличением соотношения габаритов сторон продавливающей конструкции усилие перестает распределяться равномерно по контуру продавливания и возникает концентрация усилий вблизи короткой стороны. Данная статья посвящена оценке результатов конечноэлементного моделирования и расчетам несущей способности на продавливание в зоне торца простенка, анализу влияния толщины перекрытия, габаритов простенка и класса бетона на концентрацию продавливающих усилий в перекрытии вблизи торца простенка.

**Ключевые слова:** несущая способность узла на продавливание, плоское железобетонное перекрытие, статическая нагрузка, простенок.

### **Введение**

При проектировании и строительстве зданий из монолитного железобетона один из наиболее сложных узлов возникает в зонах сопряжения перекрытий и фундаментных плит с колоннами и простенками. Это обуславливается высокой концентрацией усилий (моментов и поперечных сил) и, как следствие, густым армированием (продольным и поперечным). Расчет на продавливание является одним из важнейших для таких узлов. При этом многочисленные исследования свидетельствуют о том, что нормативная методика расчета из СП 63.13330.2018 имеет недочеты и в ряде случаев может существенно переоценивать несущую способность [1,2]. Так исследования [3,4] указывают на снижение несущей способности толстых плит. Не до конца исследованными остаются вопросы прочности

---

таких узлов при действии динамических нагрузок [5,6], а также высоких температур [7].

Отдельно стоит упомянуть влияния формы поперечного сечения колонны [8], а также соотношения сторон поперечного сечения колонн и простенков  $h/b$  [9-11]. Эти факторы учитываются, например, в EN 1992 Eurocode 2, но до сих пор не нашли отражения в СП 63.13330.2018. С увеличением соотношения габаритов сторон продавливающей конструкции усилие перестает распределяться равномерно по контуру продавливания и возникает концентрация усилий вблизи короткой стороны. При больших соотношениях  $h/b$  можно воспользоваться методикой расчета из СП 430.1325800.2018 для случая продавливания плиты торцом простенка (Рис. 1). Возможность такого механизма разрушения подтверждается, например, в работе [12].

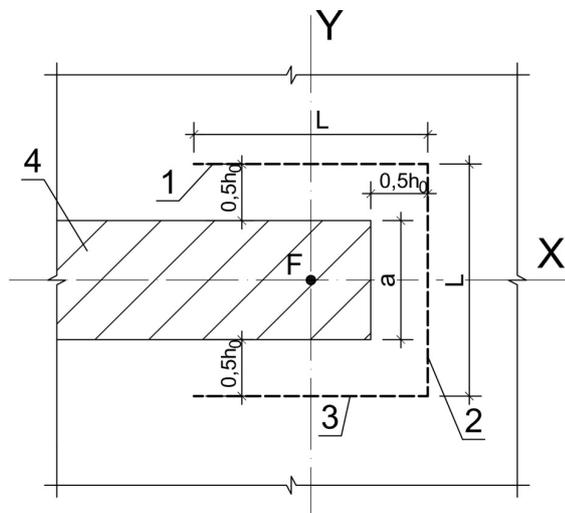


Рис. 1. – Схема расчета в зоне продавливания торцом простенка: 1,2,3 – расчетные участки длиной  $L$  контура продавливания; 4 – зона приложения нагрузки (простенок);  $h_0$  – рабочая высота сечения;  $a$  – толщина простенка.

Но в этом расчете дополнительно возникает проблемы, связанные с конечноэлементным моделированием: по усилиям в конечных элементах (КЭ) простенка невозможно понять какая часть пойдет на продавливание в

зоне торца и приходится определять продавливающие усилия на основании значений в КЭ пластин, моделирующих плиту. И здесь необходимо понимать, что метод конечных элементов (МКЭ) для пластин не является точным и имеет погрешность. А изгибающие моменты и поперечные силы получают путем нескольких последовательных операций дифференцирования для полученных результатов перемещений и с каждой следующей производной ошибка вычислений может существенно возрастать [13]. В этой связи для получения адекватных результатов нужно особенно аккуратно подходить к формированию конечных элементов вблизи торца простенка.

Данная статья посвящена оценке результатов конечноэлементного моделирования и расчетам несущей способности на продавливание в зоне торца простенка.

### Материалы и методы

Для оценки степени концентрации усилий в зоне торца простенка был создан ряд конечноэлементных моделей плоских безбалочных перекрытий, опирающихся на простенки (Рис. 2). Расчеты выполнялись в линейно-упругой постановке аналогично тому, как происходит подбор сечений конструкций при проектировании реальных зданий.

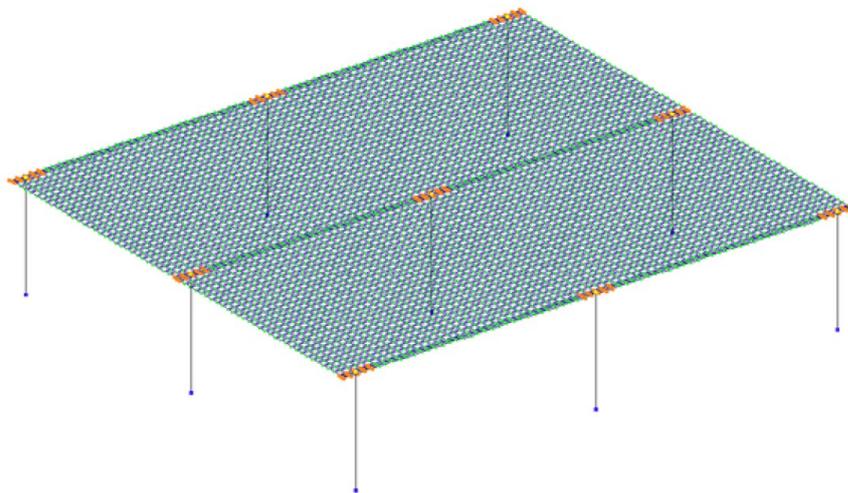


Рис. 2. – Конечноэлементная модель

Простенки моделировались стержневыми КЭ, в местах сопряжения с перекрытием задавалось абсолютно жесткое тело (АЖТ), моделирующее зону опирания. Толщина простенков принималась 200 мм (как наиболее часто применяемая из условия сокрытия простенков в толще межквартирных перегородок). Длина простенков принималась 800...1600 мм. Минимальная длина принята таким образом, чтобы выполнялось условие  $h/b=4$ , что является пограничным соотношением между пилонами и простенками в соответствии с классификацией СП 430.1325800.2018. Толщина перекрытия принималась 200...1000 мм. Пролет перекрытия в свету между гранями простенков принимался 6 м. Расчеты выполнялись для двух классов бетона В25 и В40.

Суммарная нагрузка на перекрытие  $q$  вычислялась по формуле (1), исходя из несущей способности на продавливание по бетону для расчетного контура вокруг всего простенка в предположении что он загружен равномерно:

$$q = \frac{R_{bt} \cdot u \cdot h_0}{A}, \quad (1)$$

где  $R_{bt}$  – расчетное значение сопротивления бетона осевому растяжению;  $h_0$  – рабочая высота сечения перекрытия;  $u$  – периметр расчетного контура продавливания, построенного на расстоянии  $h_0/2$  вокруг простенка,  $A$  – грузовая площадь для среднего пилона.

Так как значения усилий для КЭ определяются путем осреднения вычисленных значений в узлах, то для корректного определения среднего продавливающего усилия размер ячейки принимался кратно толщине перекрытия. Все пластинчатые КЭ строились четырехугольными с прямыми углами (Рис. 3).

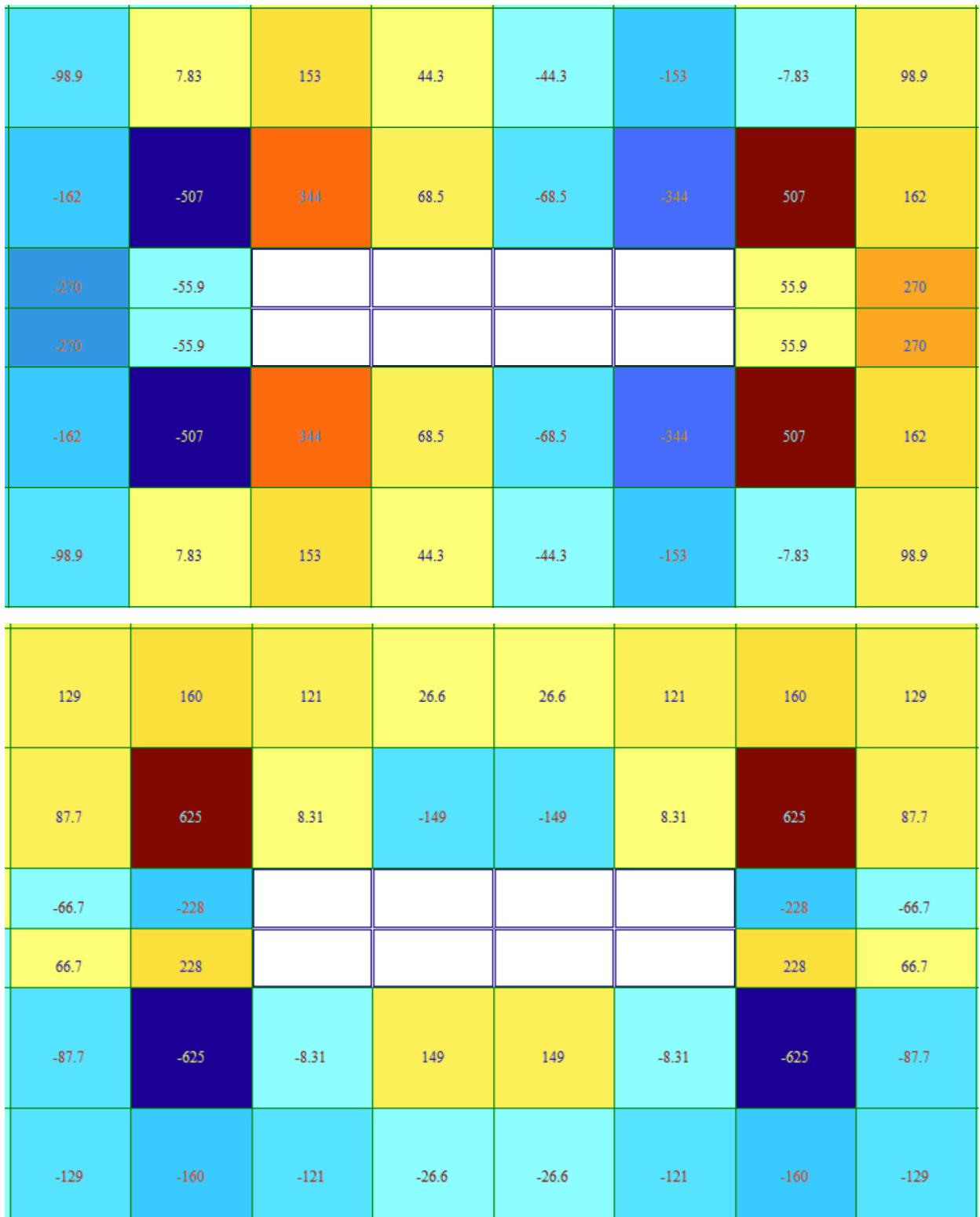


Рис. 3. – Пример мозаик усилий  $Q_x$  и  $Q_y$  (сверху вниз соответственно) для пилона сечением 200x800 мм при толщине перекрытия 200 мм.

## Результаты и выводы

Коэффициенты исчерпания несущей способности  $k$  в зависимости от соотношения габаритов простенка  $h/b$  простенков и толщины перекрытий представлены в таблице 1 и в графическом виде на Рис. 4.

Таблица № 1

Бетона класса В25										
	20 см		40 см		60 см		80 см		100 см	
$h/b$	$k$	$q, \text{кН/м}^2$	$k$	$q, \text{кН/м}^2$						
4	1,209	11,35	1,879	32,07	1,465	60,76	1,308	97,42	1,088	142,05
5	1,393	12,67	2,065	34,73	1,614	64,54	1,446	102,09	1,176	147,38
6	1,557	13,92	2,213	37,25	1,723	68,11	1,559	106,50	1,266	152,41
7	1,711	15,10	2,372	39,63	1,826	71,49	1,657	110,67	1,344	157,17
8	1,852	16,21	2,509	41,88	1,915	74,69	1,700	114,62	1,421	161,68
Бетона класса В40										
	20 см		40 см		60 см		80 см		100 см	
$b/h$	$k$	$q, \text{кН/м}^2$	$k$	$q, \text{кН/м}^2$						
4	1,221	15,13	1,885	42,76	1,448	81,01	1,283	129,89	1,047	189,40
5	1,405	16,89	2,082	46,31	1,598	86,05	1,412	136,12	1,135	196,50
6	1,564	18,55	2,241	49,66	1,717	90,81	1,529	141,99	1,223	203,21
7	1,727	20,13	2,389	52,84	1,821	95,31	1,630	147,56	1,307	209,56
8	1,865	21,62	2,524	55,85	1,914	99,58	1,720	152,82	1,383	215,57

Как видно из таблицы и графиков за счет концентрации усилий в зоне торца простенка для всех рассмотренных случаев коэффициент исчерпания несущей способности  $>1$ , то есть несущая способность по бетону не обеспечена. Повысить несущую способность возможно установкой поперечного армирования, но не более, чем в 2 раза (в соответствии с положениями СП 63.13330.2018).

Наибольшая концентрация напряжений по торцам простенка происходит в окрестности толщины перекрытия 40 см. В этой зоне для большинства сочетаний конструктивных параметров  $k > 2$  и невозможно добрать несущую способность поперечным армированием. При дальнейшем росте толщины, вследствие повышения жесткости перекрытия, происходит

снижение  $k$  и в этих случаях уже возможно законструировать узел посредством установки поперечного армирования. Увеличение длины простенка практически линейно повышает  $k$ . Класс бетона незначительно влияет на концентрацию напряжений и, как следствие,  $k$ .

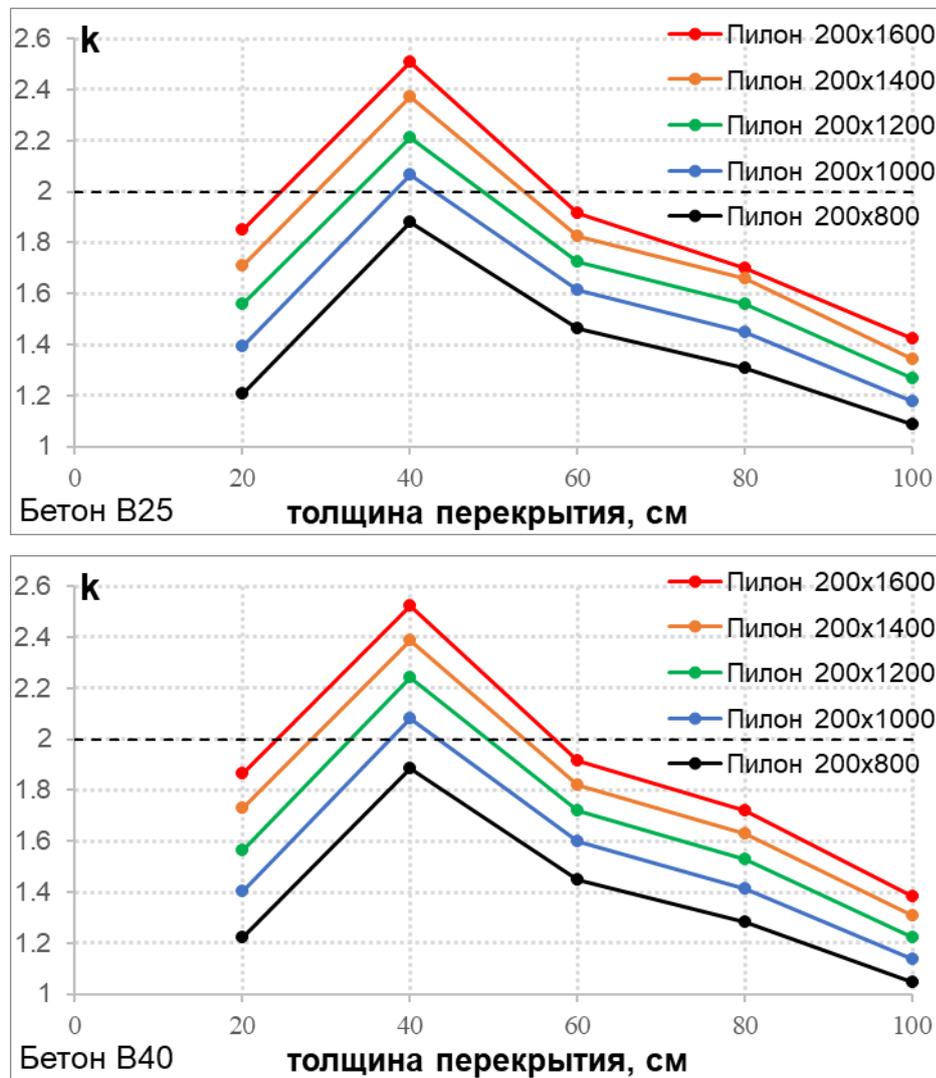


Рис. 4. – Зависимость коэффициентов исчерпания несущей способности  $k$  на продавливание в зоне торца от толщины перекрытия при различных сечениях простенков

### Литература

1. Трофимова В.М., Бурмистрова А.А., Аксёнов Н.Б. Анализ методов расчёта безбалочных перекрытий на продавливание // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469)

2. Манаенков И.К. Сравнительный анализ результатов расчета плоских железобетонных плит на продавливание // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7480](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7480)
  3. Коровин Н.Н., Голубев А.Ю. Продавливание толстых железобетонных плит // Бетон и железобетон. 1989. № 11. С. 20–23.
  4. Крылов С.Б., Кабанцев О.В., Трофимов С.В. Принципиальные вопросы прочности железобетонных плит при продавливании // Бетон и железобетон. 2024. № 4 (623). С. 50-58.
  5. Трекин Н.Н., Саркисов Д.Ю., Трофимов С.В., Крылов В.В., Евстафьева Е.Б. Экспериментально-теоретическое исследование прочности плит на продавливание // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 8. С. 1006-1014.
  6. Алексейцев А.В., Антонов М.Д. Динамика безбалочных железобетонных каркасов сооружений при повреждении плит продавливанием // Строительство и реконструкция. 2021. № 4 (96). С. 23-34.
  7. Тамразян А.Г., Звонов Ю.Н. К оценке надежности железобетонных плоских безбалочных плит перекрытий на продавливание при действии сосредоточенной силы в условиях высоких температур // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 24-28.
  8. Клованич С.Ф., Шеховцов В.И. Продавливание железобетонных плит. Натуральный и численный эксперименты. Одесса: ОНМУ, 2011. 119 с.
  9. Muttoni A. Punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse reinforcement. ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105, No. 4. Pp. 440 – 450.
  10. Sagaseta, J. Punching of flat slabs supported on rectangular columns. Engineering Structures. 2014. No. 77. Pp. 17 – 33.
  11. Филатов В.Б., Бубнов Е.П. Экспериментальные исследования прочности плоских железобетонных плит при продавливании // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 86- 91.
-



12. Зенин С.А., Болгов А.Н., Сокуров А.З., Кудинов О.В. Прочность на продавливание плоских плит перекрытий в зонах опирания на торцы стен // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 35-40

13. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: СКАД СОФТ, АСВ, 2011. 736 с.

### References

1. Trofimova V.M., Burmistrova A.A., Aksjonov N.B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5469)

2. Manaenkov I.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7480](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7480)

3. Korovin N.N., Golubev A.Ju. Beton i zhelezobeton. 1989. № 11. Pp. 20–23.

4. Krylov S.B., Kabancev O.V., Trofimov S.V. Beton i zhelezobeton. 2024. № 4 (623). Pp. 50-58.

5. Trekin N.N., Sarkisov D.Ju., Trofimov S.V., Krylov V.V., Evstaf'eva E.B. Vestnik MGSU. 2021. Vol. 16. № 8. Pp. 1006-1014

6. Aleksejcev A.V., Antonov M.D. Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2021. № 4 (96). Pp. 23-34.

7. Tamrazjan A.G., Zvonov Ju.N. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. № 7. Pp. 24-28.

8. Klovanich S.F., Shehovcov V.I. Prodavlivanie zhelezobetonnyh плит. Natural'nyj i chislennyj jeksperimenty. [Punching of reinforced concrete slabs. Natural and numerical experiments] Odessa: ONMU, 2011. 119 p.

9. Muttoni A. ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105, No. 4. Pp. 440 – 450.

10. Sagaseta, J. Engineering Structures. 2014. No. 77. Pp. 17 – 33.

11. Filatov V.B., Bubnov E.P. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. № 2. Pp. 86- 91.



12. Zenin S.A., Bolgov A.N., Sokurov A.Z., Kudinov O.V. Beton i zhelezobeton. 2022. № 2 (610). Pp. 35-40.

13. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost' ih analiza [Calculation models of structures and the ability to analyze them]. М.: SKAD SOFT, ASV, 2011. 736 p.

**Дата поступления: 7.02.2025**

**Дата публикации: 27.03.2025**