

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 624.012.45

### Исследование влияния начальных дефектов на эксплуатационные качества безбалочного перекрытия

Н.А. Пискун, В.Н. Аксёнов

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

#### Аннотация

Целью данной статьи является исследование влияния начальных дефектов на эксплуатационные качества безбалочного перекрытия. Долговечность и эксплуатационная надёжность железобетонных конструкций, в частности монолитных безбалочных перекрытий, определяются корректностью проектных решений, свойствами и качеством применяемых материалов, а также уровнем выполнения строительно-монтажных работ. В статье рассмотрены весьма распространённые нарушения СМР — несоответствие класса бетона, предусмотренного проектом, и увеличение толщины защитного слоя бетона. Проанализированы 3 серии опытных образцов с различными классами бетона (В25, В20, В15), в которых варьировалась величина защитного слоя (3, 4, 5, 6, 7 см). В результате эксперимента установлено существенное снижение эксплуатационных показателей: сверхнормативное увеличение прогибов, ширины раскрытия трещин и их количества. Полученные результаты свидетельствуют о первостепенной значимости соблюдения нормативных требований и технологической дисциплины при выполнении строительно-монтажных работ (СМР).

**Ключевые слова:** железобетон, монолитный каркас, безбалочная плита, защитный слой бетона, нарушения проекта, физическая нелинейность, прогиб, ширина раскрытия трещин, ПК «Лира-САПР»

**Для цитирования.** Пискун Н.А., Аксёнов В.Н. Исследование влияния начальных дефектов на эксплуатационные качества безбалочного перекрытия. *Молодой исследователь Дона*. 2026;11(3):36–47.

### Study on the Influence of Primary Defects on the Performance Properties of Girderless Floors

Nikita A. Piskun, Vladimir N. Aksenov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

#### Abstract

The article aims to study the influence of primary defects on the performance properties of girderless floors. The durability and operational reliability of reinforced concrete structures, in particular cast-in-place girderless floor slabs, depend on the correctness of design solutions, the properties and quality of the materials used, and the standard of construction and erection works. The article investigates the quite common violations in construction and erection works, such as non-compliance of the concrete grade with that stipulated in the design documentation and increased thickness of concrete protective layer. Three series of test specimens of different concrete grades (B25, B20, B15), in which the thickness of the concrete layer varied (3, 4, 5, 6, 7 cm), have been analysed. The experiment revealed a significant deterioration of performance indicators: excessive increase of the number of deflections, of the number of cracks and their width. The obtained results demonstrate the utmost importance of compliance with the regulatory requirements and strict adherence to the technological procedure during construction and erection works (C&E).

**Keywords:** reinforced concrete, cast-in-place frame, girderless floor slab, concrete protective layer, design violations, physical nonlinearity, deflection, crack width, Lira-SAPR software

**For Citation.** Piskun NA, Aksenov VN. Study on the Influence of Primary Defects on the Performance Properties of Girderless Floors. *Young Researcher of Don*. 2026;11(3):36–47.

**Введение.** Монолитное строительство стало одной из наиболее распространённых технологий возведения зданий и в развитых странах достигает 50–75 % от общего объёма строительства. Исследование причин возникновения трещин и деформаций в монолитных конструкциях является неотъемлемой частью инженерной деятельности. В монолитных конструкциях повсеместно выявляются дефекты, возникающие вследствие некачественного выполнения строительно-монтажных работ; анализ причин их появления представляет собой крайне важный этап при принятии решений о дальнейшей эксплуатации таких конструкций [1–3].

Для оценки влияния изменения толщины защитного слоя бетона и класса бетона на эксплуатационные качества монолитной плиты перекрытия (прогиб, ширину раскрытия трещин, прочность) был выполнен вычислительный эксперимент.

В качестве модели для вычислительного эксперимента был принят фрагмент каркаса многоэтажного жилого здания из монолитного железобетона (типовой этаж). Расчёт выполнялся в среде ПК ЛИРА-САПР 2024. В соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 расчёт должен выполняться с учётом физической нелинейности. Для этого параметры жёсткости элементов были скорректированы с учётом нелинейной работы бетона.

Вычислительный эксперимент был реализован в соответствии с приведённым ниже планом (рис. 1). Варьируемыми параметрами эксперимента являлись класс бетона и величина защитного слоя верхней арматуры. В ходе вычислительного эксперимента были выполнены 3 серии опытных образцов с различными классами бетона (B25, B20, B15), в которых изменялась величина защитного слоя (3, 4, 5, 6, 7 см). Результаты вычислительного эксперимента были проанализированы; для наглядного представления зависимости прочности, прогибов и ширины раскрытия трещин от величины защитного слоя были построены графики.

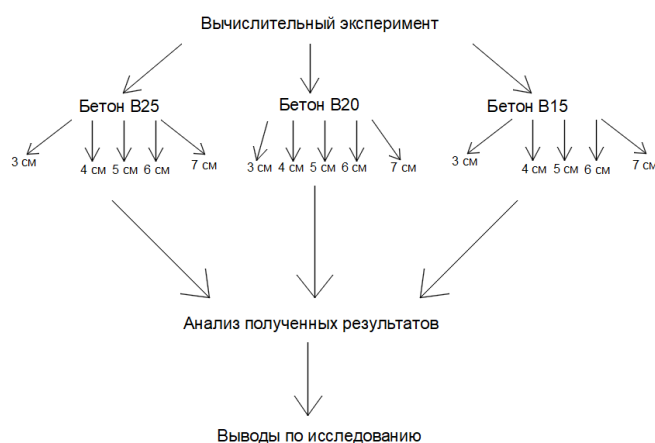


Рис. 1. План вычислительного эксперимента

**Основная часть.** Для оценки прогибов и ширины раскрытия трещин безбалочного перекрытия с учетом пластических свойств бетона и фактического армирования был выполнен расчет перекрытия типового этажа. Расчетная схема была сформирована на основе основной схемы здания путем исключения всех элементов каркаса, кроме плиты типового этажа на отм. +6.440, а также примыкающих к ней сверху и снизу вертикальных несущих конструкций (рис. 2). При этом высота стен и колонн, расположенных над и под плитой, принималась равной половине высоты этажа. Нижние и верхние узлы стен и колонн имели следующие закрепления: нижние узлы — X, Y, Z, верхние узлы — X, Y.

В расчете принималась: толщина перекрытия — 200 мм, сечение колонн — 500×500 мм, толщина диафрагм жесткости — 200 мм.

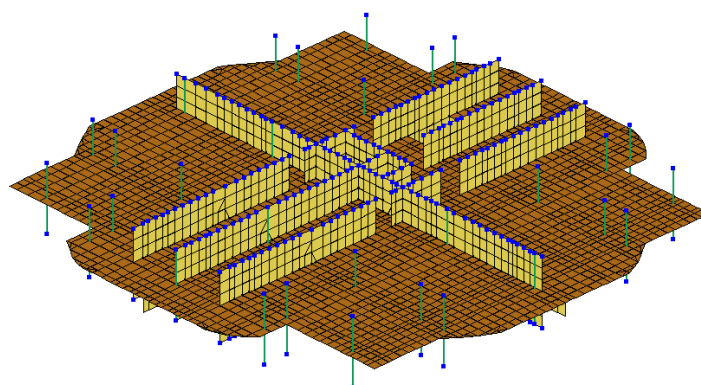


Рис. 2. Вид опытного образца

Для конечных элементов плиты были заменены типы конечных элементов на физически нелинейные КЭ241, КЭ242. Армирование плиты во всех образцах в части количества стержней, их шага и диаметра принято одинаковым. Арматура класса А500, фоновое армирование Ø 12 мм с шагом 200x200 мм, дополнительные зоны усиления: Ø 12; Ø 16 и Ø 20 мм с шагом 200 мм. Отличие составляет толщина защитного слоя бетона и, соответственно, рабочая высота сечения. Параметры армирования элементам плиты опытных образцов задавалось при помощи функции «Тип заданного армирования», далее ТЗА (Рис. 3). Мозаики назначенного с помощью ТЗА армирования показаны на рис. 4–7. Внутри каждой из трёх серий толщина защитного слоя варьировалась на пяти уровнях и составляла: 3; 4; 5; 6 и 7 см.

ID				Тип	Комментарий	X Top	As	a	Y Top	As	a	X Bottom	As	a	Y Bottom	As	a
1	<input type="checkbox"/>			AS		s200d12	5.20										
2	<input type="checkbox"/>			AS		s200d12	5.20										
3	<input type="checkbox"/>			AS		s200d16	5.20										
4	<input type="checkbox"/>			AS		s200d20	5.20										
5	<input type="checkbox"/>			AS					s200d12		4.00						
6	<input type="checkbox"/>			AS					s200d12		4.00						
7	<input type="checkbox"/>			AS					s200d16		4.00						
8	<input type="checkbox"/>			AS								s200d12		3.00			
9	<input type="checkbox"/>			AS								s200d12		3.00			
14	<input type="checkbox"/>			AS											s200d12		4.20

Рис. 3. Таблица заданного армирования (ТЗА) одного из опытных образцов

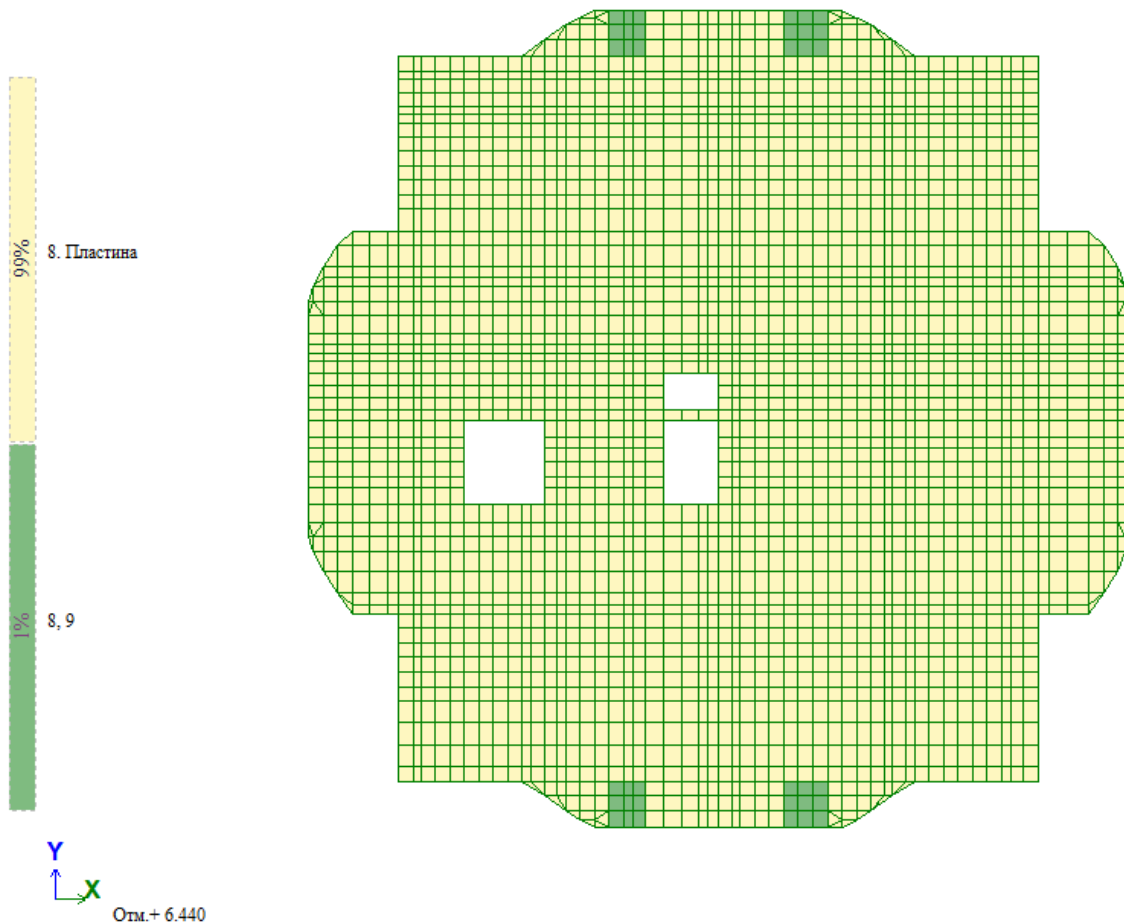


Рис. 4. Мозаика ТЗА (нижняя арматура вдоль оси X)

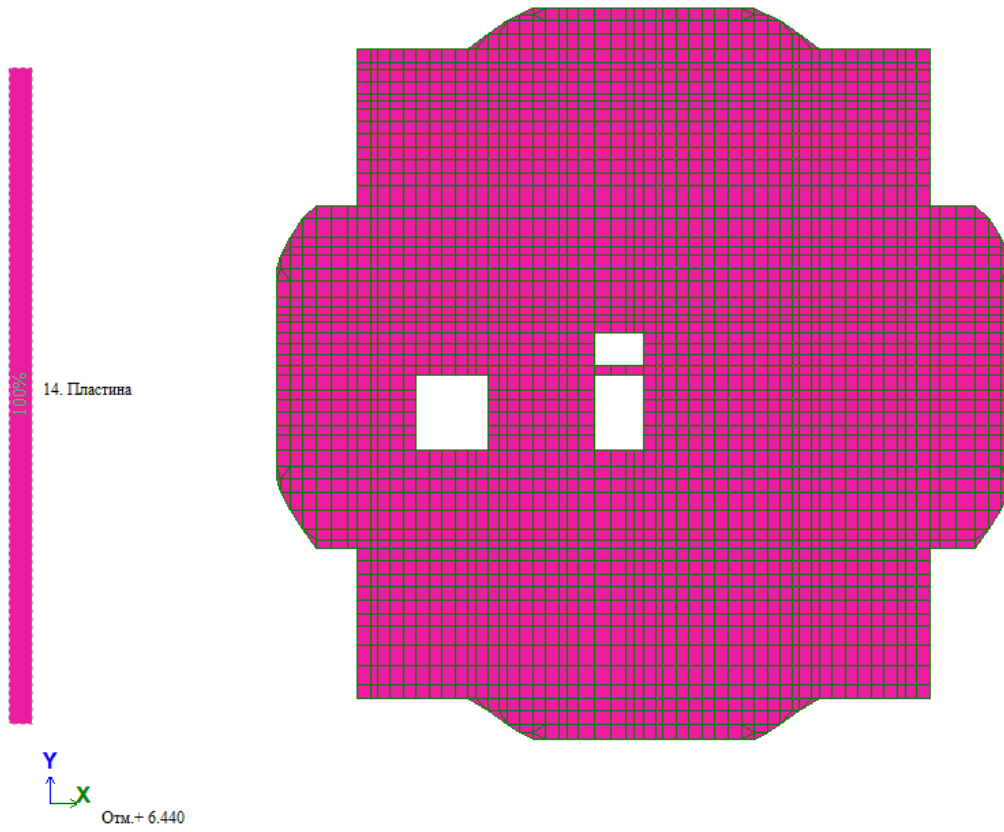


Рис. 5. Мозаика ТЗА (нижняя арматура вдоль оси Y)

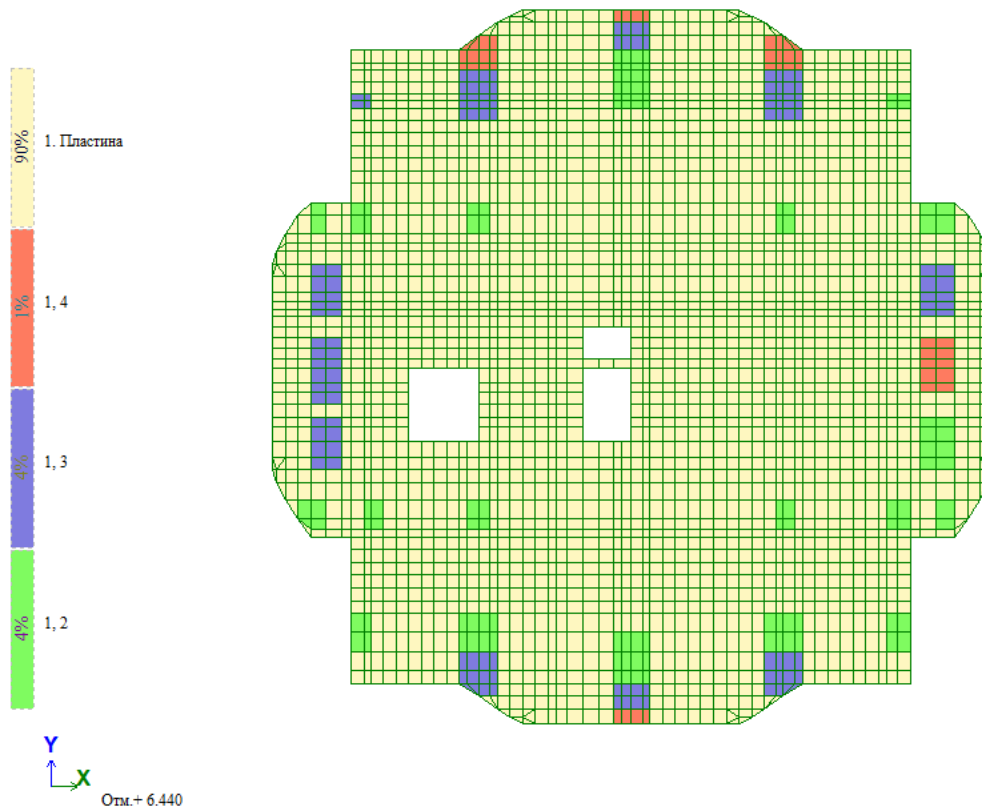


Рис. 6. Мозаика ТЗА (верхняя арматура вдоль оси X)

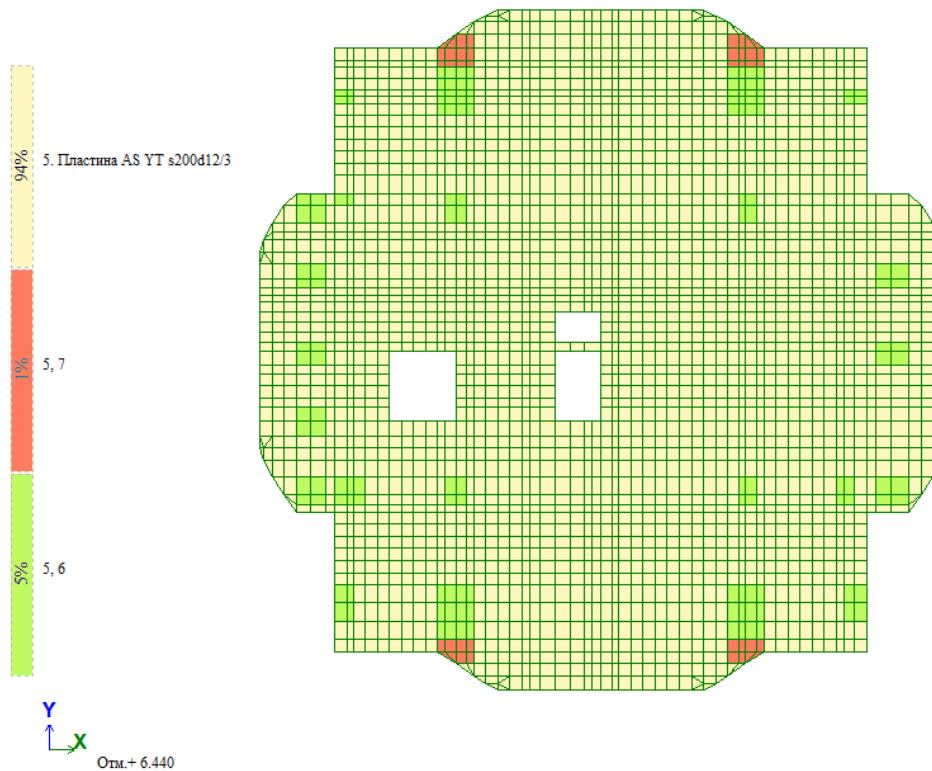


Рис. 7. Мозаика ТЗА (верхняя арматура вдоль оси Y)

На плиту перекрытия действуют следующие нагрузки:

- собственный вес —  $6,05 \text{ кН/м}^2$ ;
- постоянная — нагрузки от веса полов в жилых помещениях —  $1,3 \text{ кН/м}^2$ , вне жилых помещений  $1,95 \text{ кН/м}^2$ , нагрузка от наружных стен —  $14,8 \text{ кН/м}$ , нагрузка от витражей —  $0,49 \text{ кН/м}$ ;
- длительная — нагрузки от веса перегородок —  $1,43 \text{ кН/м}^2$ ;
- полезная нагрузка — в жилых помещениях —  $1,95 \text{ кН/м}^2$ , вне жилых помещений  $3,6 \text{ кН/м}^2$ , в зоне расположения лоджий —  $4,8 \text{ кН/м}^2$ .

Список загрузений			
#	Имя загрузки	Подзадача	Вид
1	Собственный вес	1. Основная зада...	Постоянное(П)
2	Постоянная	1. Основная зада...	Постоянное(П)
3	Длительное	1. Основная зада...	Длительное(Д)
4	Полезная	1. Основная зада...	Кратковременное(К)

Рис. 8. Список загрузений

Диаграмма деформирования бетона была задана трехлинейной (рис. 8) для продолжительно действующих нагрузок. Диаграмма арматуры — двухлинейная для класса А500 (рис. 9).

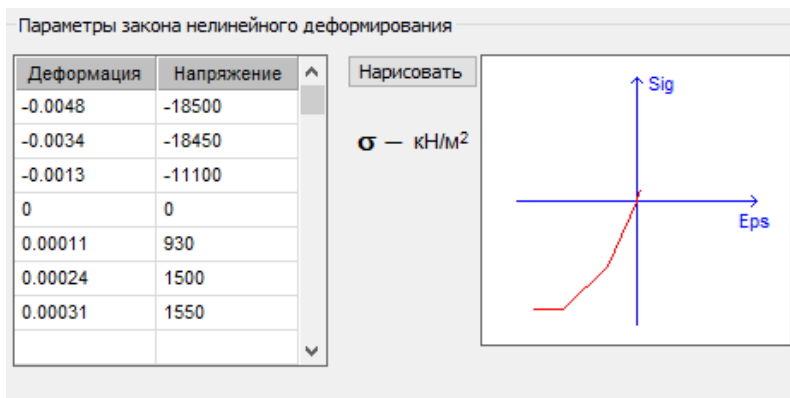


Рис. 8. Закон нелинейного деформирования для бетона В25

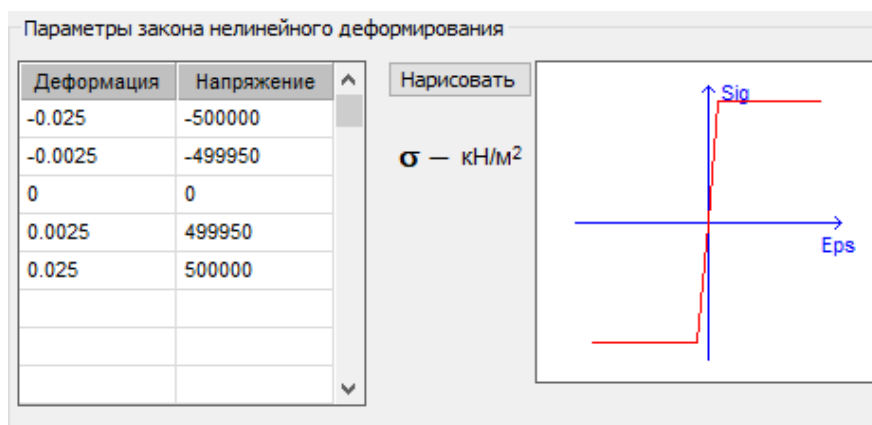


Рис. 9. Закон нелинейного деформирования для арматуры А500

Далее были созданы нелинейные загрузки (рис. 10), моделирующее нагружение плиты нормативной нагрузкой. Расчет прогибов и ширины раскрытия трещин выполнен от действия постоянной и длительной части нормативных нагрузок. Суммарный коэффициент (рис. 10), является переходным коэффициентом перехода от расчетных значений нагрузок к нормативным. Данный коэффициент равен обратной величине коэффициента надёжности по нагрузке  $\gamma_f$  и принят равным: для постоянной нагрузки  $1/1,1 = 0,909$  (1 и 2 загрузки), для длительной и кратковременной  $1/1,2 = 0,833$  (3 и 4 загрузки).

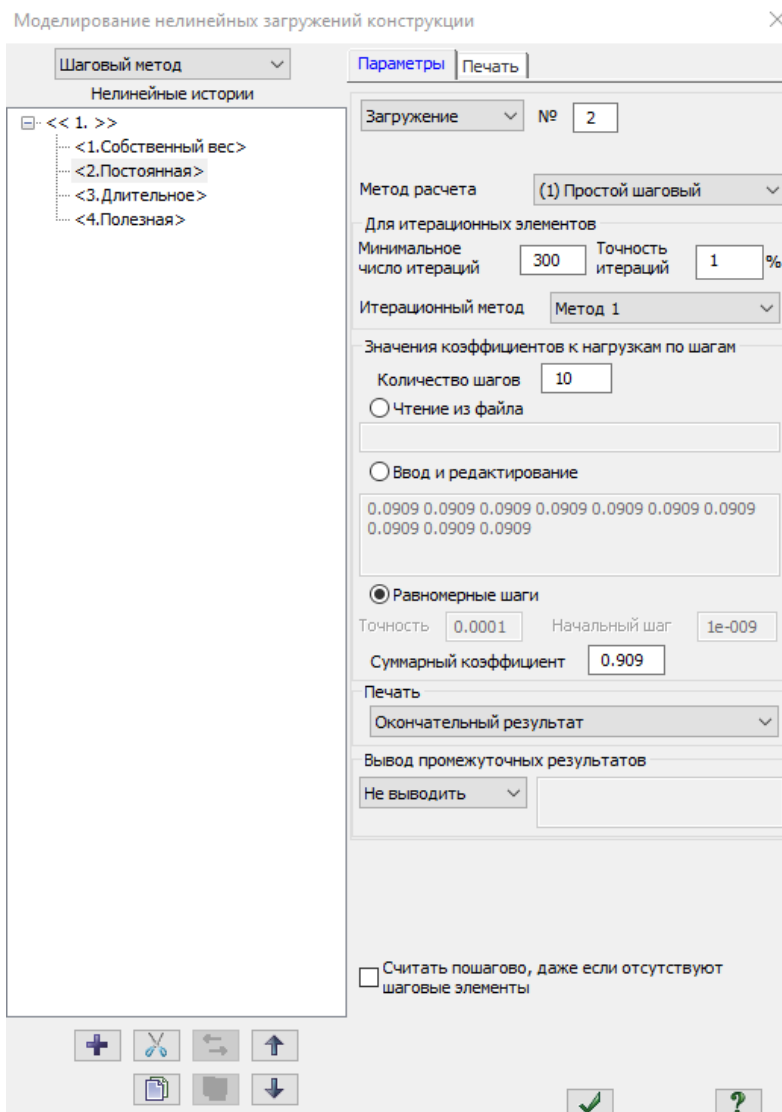


Рис. 10. Моделирование нелинейных загрузок конструкции

Всего было рассчитано три серии образцов (см. план эксперимента). Ниже приведены соответствующие диаграммы состояния бетонов В20 и В15 (рис. 11, 12).

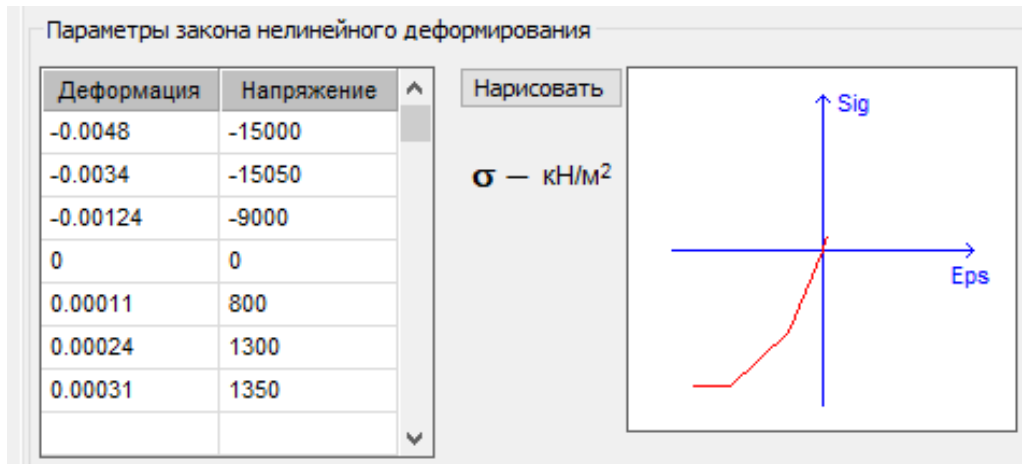


Рис. 11. Закон нелинейного деформирования для бетона В20

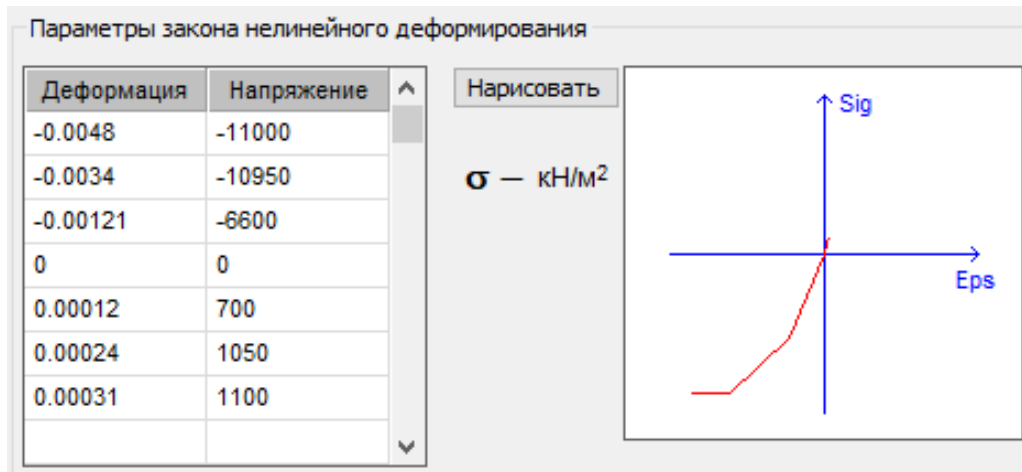


Рис. 12. Закон нелинейного деформирования для бетона В15

Требуемые в соответствии с планом эксперимента значения толщины защитного слоя бетона (4, 5, 6, 7 см) получали путём корректировки численных значений величины  $a$  в 10-ом и 13-ом столбцах таблицы ТЗА (рис. 13).

ID	Тип	Комментарий	X Top	As	a	Y Top	As	a	X Bottom	As	a	Y Bottom	As	a
1	AS		s200d12		5.20									
2	AS		s200d12		5.20									
3	AS		s200d16		5.20									
4	AS		s200d20		5.20									
5	AS					s200d12		4.00						
6	AS					s200d12		4.00						
7	AS					s200d16		4.00						
8	AS								s200d12		3.00			
9	AS								s200d12		3.00			
14	AS											s200d12		4.20

Рис. 13. Корректировка защитного слоя для ТЗА

При задании защитного слоя учитывалась послынная раскладка армирования с учетом смещения на значение диаметра (рис. 14).

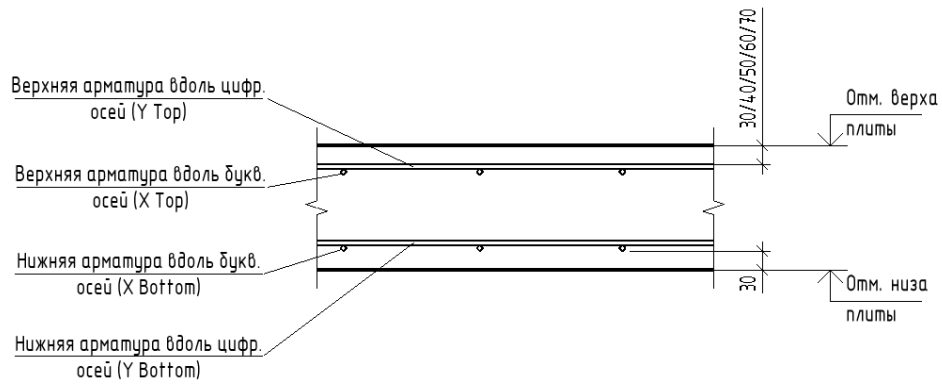


Рис. 14. Послойная раскладка армирования ТЗА

Изополю перемещений по оси Z, полученные после выполнения нелинейного расчета, при классе бетона В25 (рис. 15, 16):

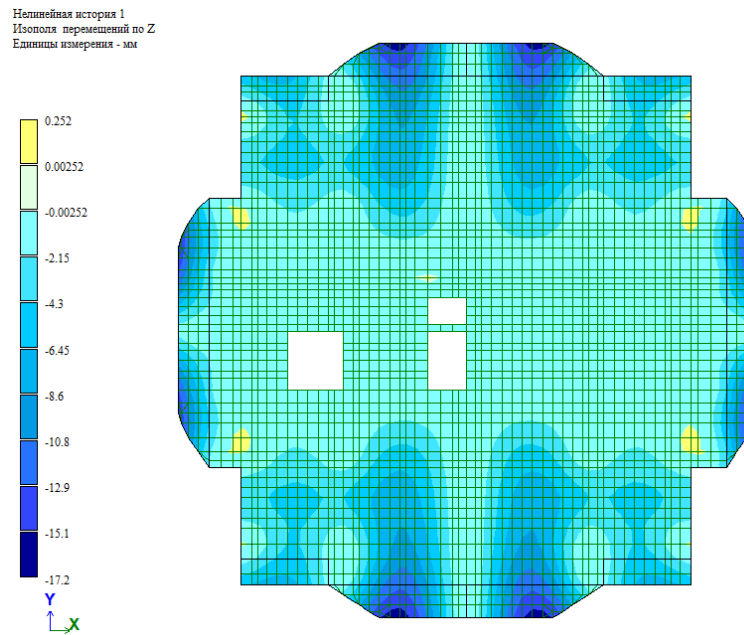


Рис. 15. Перемещения по оси Z (при защитном слое 3 см)

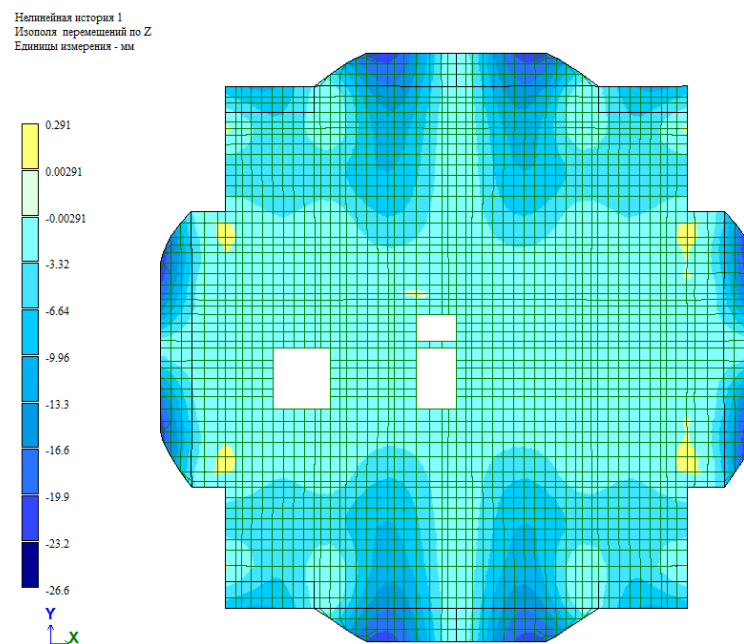


Рис. 16. Перемещения по оси Z (при защитном слое 7 см)

Анализируя вышележащие рисунки, можно увидеть, что максимальный прогиб увеличился с 17,2 мм, до 26,6 мм, то есть на 55 %.

Далее представлена мозаика ширины раскрытия трещин в верхнем слое при классе бетона В25 (рис. 17, 18):

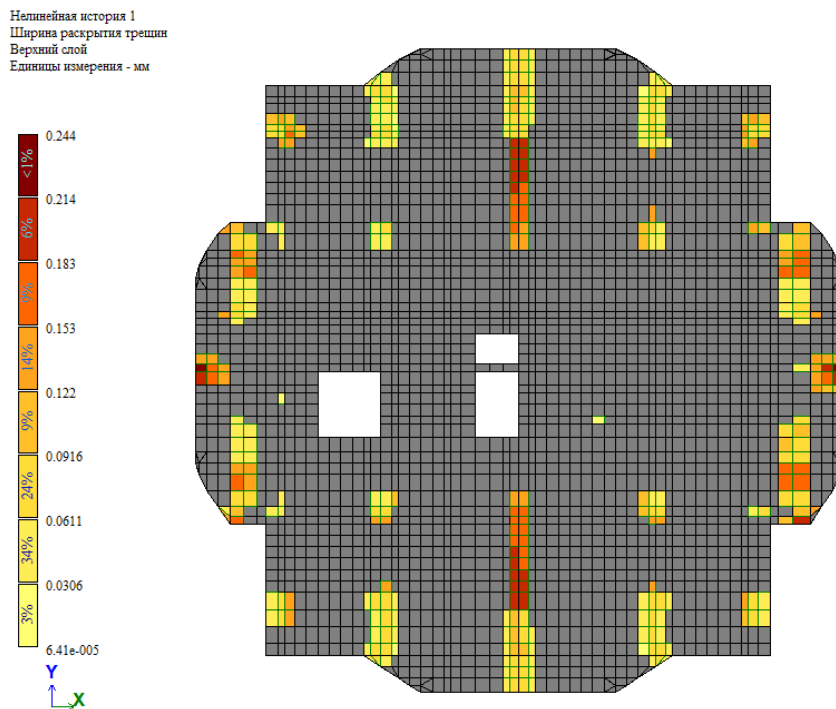


Рис. 17. Ширина раскрытия трещин в пластинах в верхнем слое (при защитном слое 3 см)

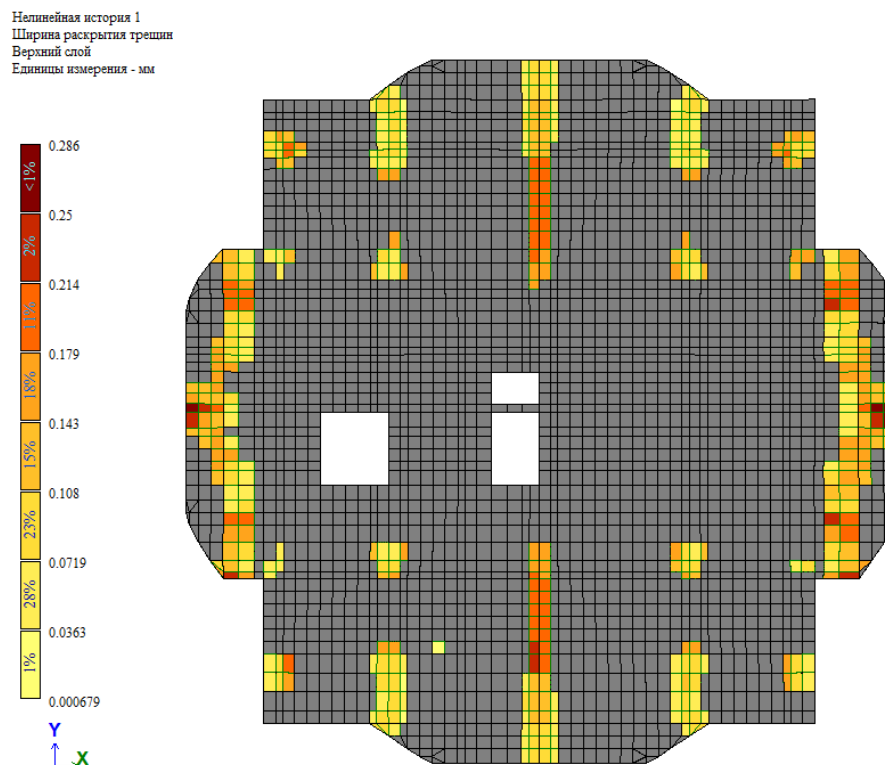


Рис. 18. Ширина раскрытия трещин в пластинах в верхнем слое (при защитном слое 7 см)

Анализ полученных результатов нелинейного расчета свидетельствует, что максимальная ширина раскрытия трещин в верхнем слое при защитном слое 3 см составляла 0,244 мм, после его увеличения до 7 см — 0,286 мм, т.е. возросла на 17,2 %.

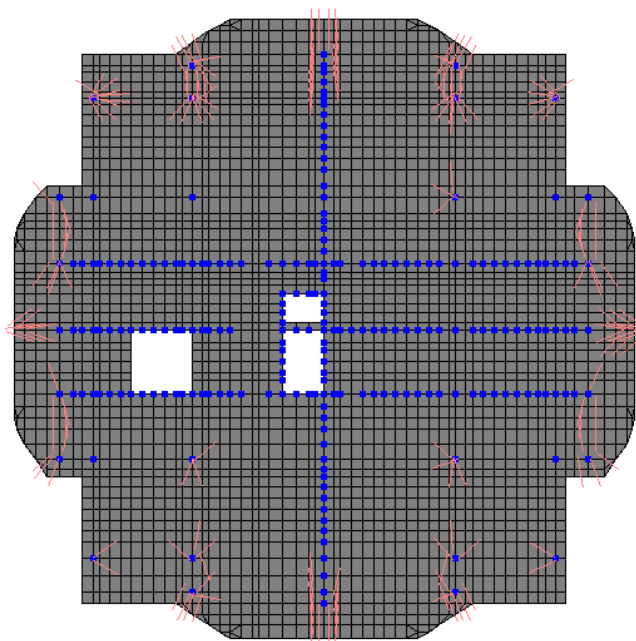


Рис. 19. Направление трещин в пластинах в верхнем слое (при защитном слое 3 см)

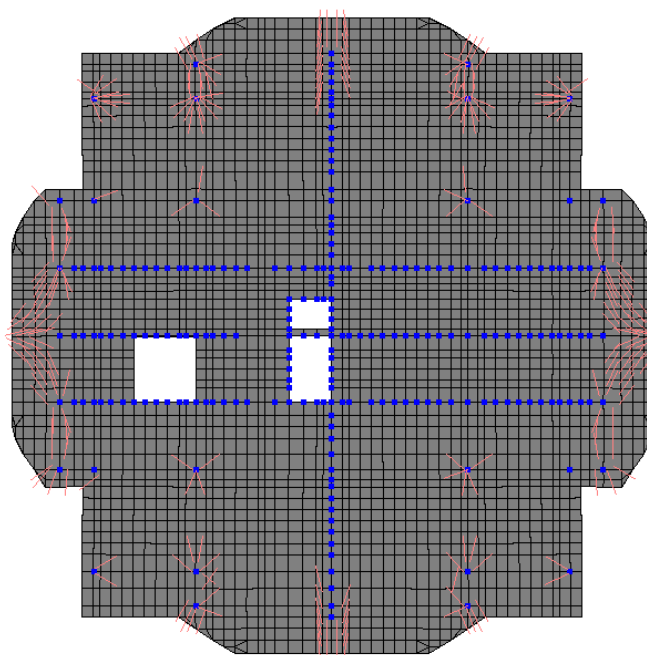


Рис. 20. Направление трещин в пластинах в верхнем слое (при защитном слое 7 см)

Сравнивая полученные результаты, изображенные на рис. 19 и 20, можно увидеть, что количество трещин на приопорных участках увеличилось.

По результатам нелинейного расчета построены графики зависимости максимального прогиба (рис. 21), максимальной ширины раскрытия трещин в верхней зоне от величины защитного слоя верхней арматуры (рис. 22).

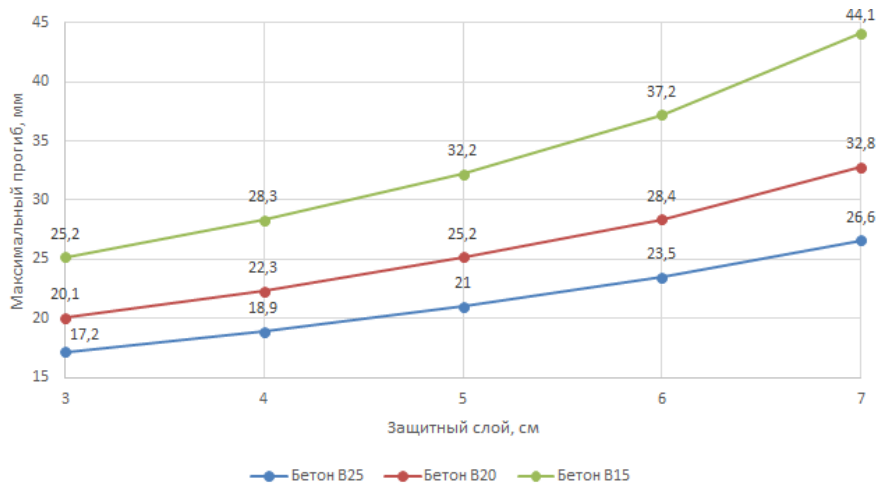


Рис. 21. График зависимости максимального прогиба от величины защитного слоя

Для бетона В15 максимальный прогиб увеличился на 75 %, в свою очередь, при бетоне В20 — на 63,2 %, В25 — на 54,6%. У графика, соответствующего бетону класса В15, на участке с величиной защитного слоя верхнего армирования 6–7 см, рост деформаций происходит стремительнее, чем при классе В20, В25. Аналогичное поведение графика можно увидеть на рис. 22.

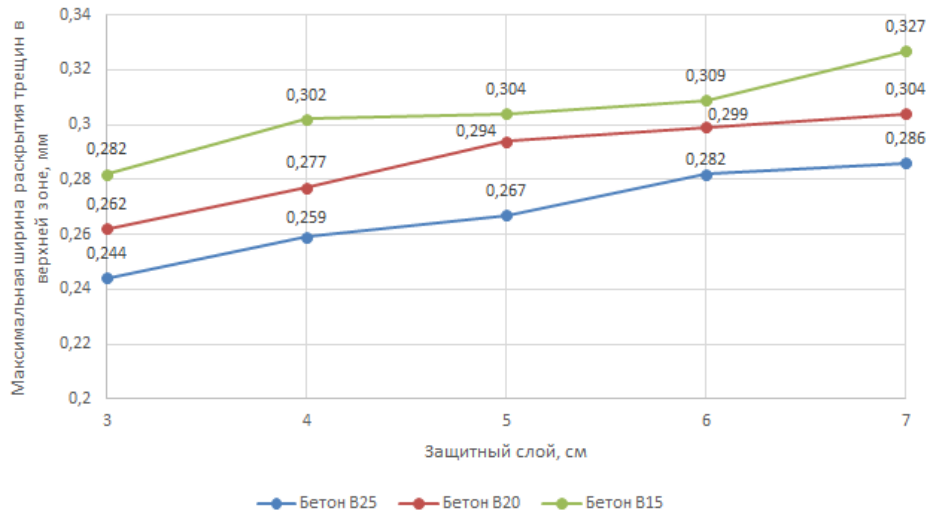


Рис. 22. График зависимости максимальной ширины раскрытия трещин в верхней зоне от величины защитного слоя

Также была вычислена несущая способность плиты перекрытия. В расчете принята ширина сечения 1 м, площадь растянутой арматуры  $A_s = 11,31 \text{ см}^2$  (10Ø12), площадь сжатой арматуры  $A'_s = 5,65 \text{ см}^2$  (5Ø12). Поведение графика — прямолинейное (рис. 17) несущая способность снижается на 30,9–31,6%:

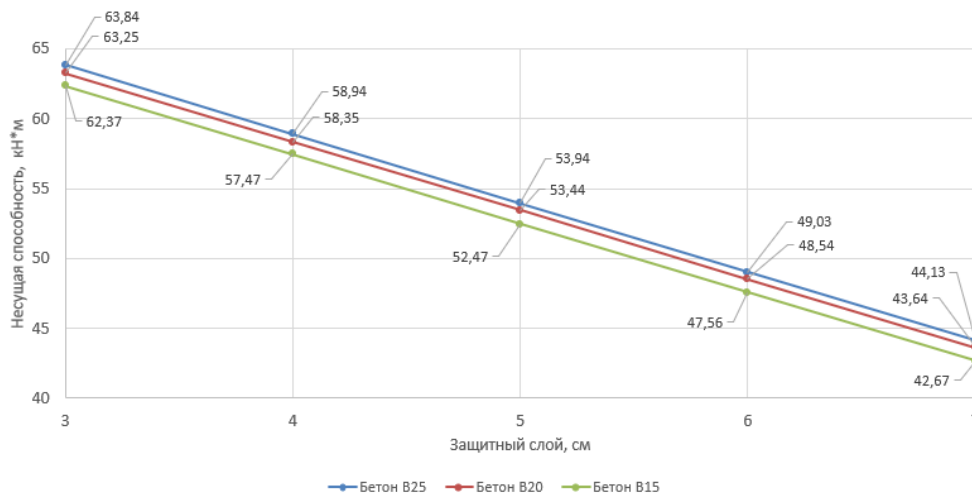


Рис. 23. График зависимости несущей способности от величины защитного слоя

**Заключение.** Увеличение защитного слоя верхней арматуры плиты перекрытия с 3 см до 7 см привело к уменьшению рабочей высоты сечения плиты с 15,2 см до 11,2 см, то есть на 26,3 % и, как следствие, к значительным изменениям эксплуатационных характеристик перекрытия. Несущая способность снизилась на 30,9–31,6%, максимальный прогиб плиты перекрытия увеличился на 56,4–75%, ширина раскрытия трещин в верхней зоне увеличилась на 15,9–17,2%. Помимо увеличения ширины раскрытия трещин, в верхней зоне проявляются новые трещины на опорных участках плиты перекрытия.

#### **Список литературы**

1. Аксёнов Н.Б., Задорожная А.В., Трофимова В.М., Сеницина Т.В., Назаров А.В. Исследование влияния отклонений положения рабочей арматуры от проектного на прочность безбалочных перекрытий. *Инженерный вестник Дона*. 2018;(2(49)):168. URL: <https://ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4902> (дата обращения: 25.03.2026).
2. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Фролов Н.В., Анисимович Н.А., Демин В.А. Исследование причин образования при строительстве у безбалочной монолитной железобетонной плиты перекрытия сверхнормативных прогибов и трещин. *Вестник евразийской науки*. 2025;17(1). URL: <https://esj.today/33savn125.html> (дата обращения: 25.03.2026).
3. Волков А.С., Дмитренко Е.А., Корсун А.В. Влияние дефектов строительства на несущую способность железобетонных конструкций монолитного каркасного здания. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015;(2(29)):45–56. URL: <https://sciup.org/vlijanie-defektov-stroitelstva-na-nesushhuju-sposobnost-zhelezobetonnyh-14322207> (дата обращения: 24.03.2026).

#### **Об авторах:**

**Никита Александрович Пискун**, магистрант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), [nikita2021kerch@gmail.com](mailto:nikita2021kerch@gmail.com)

**Владимир Николаевич Аксёнов**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» (344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), [aksenov.v.n@mail.ru](mailto:aksenov.v.n@mail.ru)

**Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

#### **About the Authors:**

**Nikita A. Piskun**, Master's Degree Student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Don State Technical University (162, Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation), [nikita2021kerch@gmail.com](mailto:nikita2021kerch@gmail.com)

**Vladimir N. Aksenov**, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Don State Technical University (162, Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation), [aksenov.v.n@mail.ru](mailto:aksenov.v.n@mail.ru)

**Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.**

**All authors have read and approved the final manuscript.**