

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, Г.А. САДОЯН²^{1,2} ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРИ МЕСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Аннотация. Производство строительных конструкций сопровождается различными нарушениями технологических требований, вследствие чего могут возникнуть дефекты и повреждения бетона, которые приводят к снижению его прочности. К таким дефектам могут относиться поверхностные раковины и полости, трещины на различных участках и пустоты в бетоне. Наиболее чувствительными к такого рода дефектам и повреждениям являются железобетонные изгибаемые конструкции, в частности, плиты. Рассматривается влияние различных положений участков с дефектным бетоном на несущую способность шарнирно опертых и защемленных железобетонных изгибаемых плит. Построены графики, показывающие изменение несущей способности железобетонных изгибаемых плит в зависимости от значения прочности дефектного бетона и его местоположения. Установлено, что для шарнирно опертых плит наибольшую опасность представляют зоны с дефектным бетоном в пролете и в угловых опорных зонах, а для защемленных плит в середине опорной зоны и в пролете.

Ключевые слова: железобетонные плиты, местные дефекты бетона, несущая способность.

A.G. TAMRAZYAN¹, H.A. SADOYAN²^{1,2} Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

LOAD-BEARING CAPACITY OF FLEXIBLE REINFORCED CONCRETE SLABS WITH LOCAL CHANGES IN CONCRETE STRENGTH

Abstract. The production of building structures is accompanied by various violations of technological requirements, which may result in defects and damage to concrete, which lead to a decrease in its strength. Such defects may include surface cavities and cavities, cracks in various areas and voids in concrete. The most sensitive to such defects and damage are reinforced concrete bending structures, in particular, slabs. The influence of various positions of areas with defective concrete on the bearing capacity of hinged and clamped reinforced concrete bending slabs is considered. Graphs are constructed showing the change in the bearing capacity of reinforced concrete bending slabs depending on the strength value of the defective concrete and its location. It is established that for hinged supported slabs, the greatest danger is posed by zones with defective concrete in the span and in the corner support zones, and for clamped slabs in the middle of the support zone and in the span.

Keywords: reinforced concrete slabs, local defects of concrete, bearing capacity.

Введение

Различные исследования российских и зарубежных авторов показывают, что основные причины возникновения большинства дефектов строительных конструкций связаны с дефектами изготовления и неудовлетворительным качеством строительно-монтажных работ (таблица 1).

Таблица 1 – Причины возникновения дефектов строительных конструкций

Причины возникновения дефектов	Источник					
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	Общая доля от всех дефектов, %					
Дефекты изготовления	48,3	17,6	39,0	65,0	48,9	52,0
Неудовлетворительное качество строительно-монтажных работ		41,6				
Низкое качество материалов	6,0	-	2,0	14,0	-	4,0
Недоработка норм проектирования	4,0	-	10,0	11,0	34,0	-
Неправильная эксплуатация	15,7	8,0	12,0	7,0	17,1	38,0
Ошибки проектирования	25,1	4,0	35,0	-	-	4,0
Совокупность указанных причин	-	17,6	-	-	-	-
Прочие причины и их сочетания	0,9	11,2	2,0	3,0	-	2,0

При этом, исследования ряда авторов показывают, что на железобетонные конструкции приходится достаточно высокая доля от общего числа дефектов (таблица 2).

Таблица 2 – Среднее распределение дефектов по строительным конструкциям

Строительные конструкции	Источник	
	[1]	
	Общая доля от всех дефектов, %	
Железобетонные конструкции	34,0	
Деревянные конструкции	10,0	
Стальные конструкции	15,0	
Кирпичные и блочные конструкции	26,0	
Прочие	15,0	

На рисунке 1 представлена диаграмма, характеризующая основные причины разрушения железобетонных конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе в Нидерландах [7]. Несмотря на то, что открытые пространства характеризуются воздействиями агрессивных сред, приводящих к коррозионным повреждениям, разрушение около 20% всех конструкций обусловлено строительными дефектами.

Большую часть всех дефектов можно разделить на следующие группы: технологические (соединения арматурных изделий с отклонениями от норм; непроектные положения рабочих швов бетонирования; неправильный уход за бетоном в летний и зимний периоды – появляются усадочные трещины на поверхности бетона, приводящие к снижению его прочности; неправильное ведение работ по зимнему бетонированию; недоуплотнение бетона – появляются поры и пустоты, которые снижают прочность бетона; переуплотнение бетона – расслоение бетонной смеси; использование некачественной опалубки, обладающей недостаточной жесткостью и прочностью; неправильное положение опалубки;

преждевременное снятие опалубки; нагружение конструкций до достижения бетоном проектной прочности; отсутствие или недостаточный контроль морозостойкости и водонепроницаемости бетона; отклонения положения конструкций от проектных, превышающие нормативные требования; нарушения проектных требований по укладке смежных слоев бетонной смеси без устройства рабочих швов бетонирования и др.), конструкционные (несоответствие характеристик прочности, плотности, водонепроницаемости, морозостойкости и других показателей бетона для проектируемых конструкций; использование арматурного и металлического проката, не соответствующей по прочности и химическому составу проектным показателям, применение корродированной арматуры; установка рабочей арматуры конструкций в положение, не соответствующей проекту; уменьшение диаметра арматурного стержня; несоответствие толщины защитного слоя бетона проектным и нормативным значениям; присутствие неблагоприятных условий, непредусмотренный в проекте (агрессивная среда, аномальный температурно-влажностный режим, непредусмотренные нагрузки на горизонтальных конструкциях); несоответствие геометрических размеров конструкций проектным; несоответствие положения анкеровки, нахлеста, закладных деталей проектному и др.) и проектные (сложно реализуемые конструктивные и архитектурные решения; неправильный выбор конструктивной схемы; несоответствие нагрузок, заложенных проектом, реальным; несоответствие расчетной схемы реальному положению конструкций; неправильное определение напряженно-деформированного состояния конструкций и др.) [8-10].

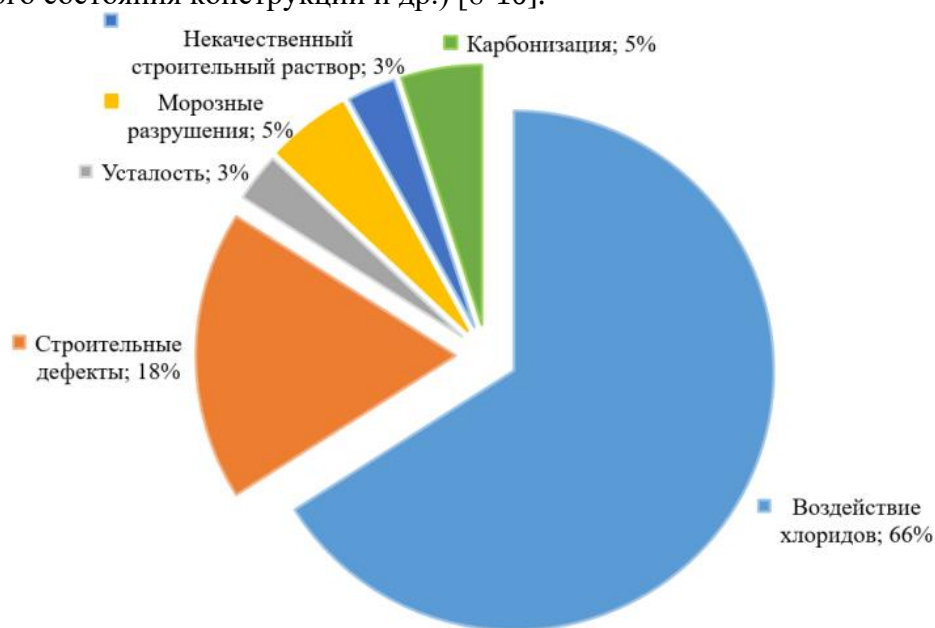


Рисунок 1 – Диаграмма распределения основных причин разрушения железобетонных конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе

Нарушения требований производства железобетонных конструкций могут привести к таким дефектам, как пустоты в бетоне, образование полостей на поверхности, образование трещин в блоках, появление поверхностных раковин и др., которые приводят к снижению прочности и жесткости бетона, что в свою очередь может привести к снижению несущей способности конструкций, а также перераспределению усилий в них [11-13]. Аналогичные дефекты возможны в сборных железобетонных конструкциях [14, 15].

На рисунке 2 представлены графики зависимости прочности бетона от условий уплотнения бетонной смеси, водоцементного соотношения B/C и температурного режима твердения [16-18].

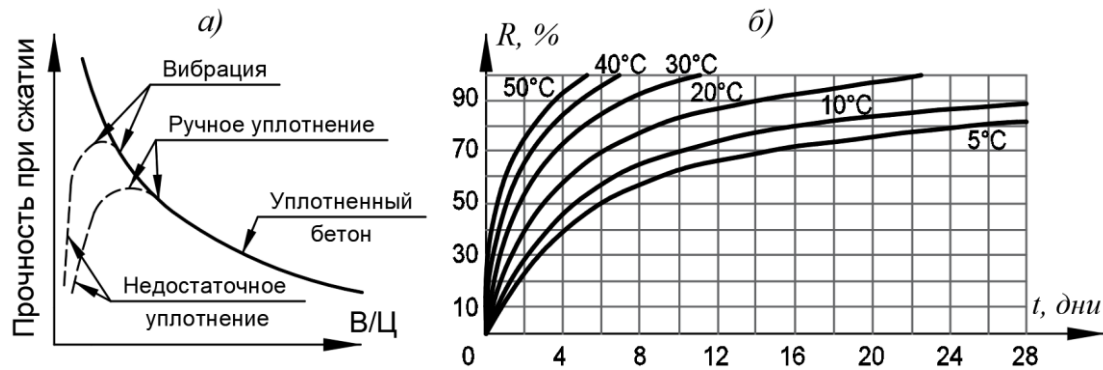


Рисунок 2 – Зависимость прочности бетона на сжатие от: а) водоцементного соотношения В/Ц и способа уплотнения; б) температуры твердения

Целью настоящей работы является исследование влияния изменений прочности бетона на локальных участках на несущую способность изгибаемых железобетонных плит.

Метод

Рассмотрим две плиты с участками дефектного бетона с прочностью, отличающейся от проектной: шарнирно опертая плита, защемленная по контуру плита (см. рисунок 3).

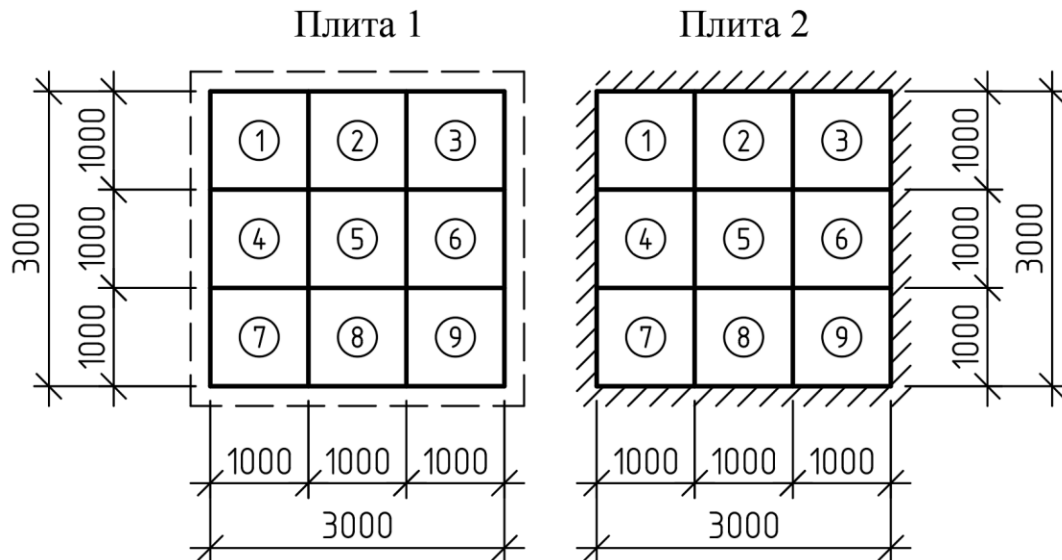


Рисунок 3 – Модели рассматриваемых плит

Одним из популярных методов расчета железобетонных изгибаемых плит является метод предельного равновесия, согласно которому плита разбивается плоскими фрагментами, которые соединяются между собой пластическими шарнирами, как это показано на рисунке 4.

При этом изгибающие моменты M , рассчитываемые на 1 м ширины плиты, определяются по формуле:

$$M = R_s A_s z_b, \quad (1)$$

где A_s – площадь армирования, пересеченная пластическим шарниром.

В зависимости от граничных условий составляются уравнения работ внешних и внутренних сил на перемещениях в предельном равновесии для определения изгибающих моментов. В общем случае в плите действуют следующие изгибающие моменты: пролетные M_I и M_2 и опорные M_I , M_{II} , M'_I , M'_{II} .

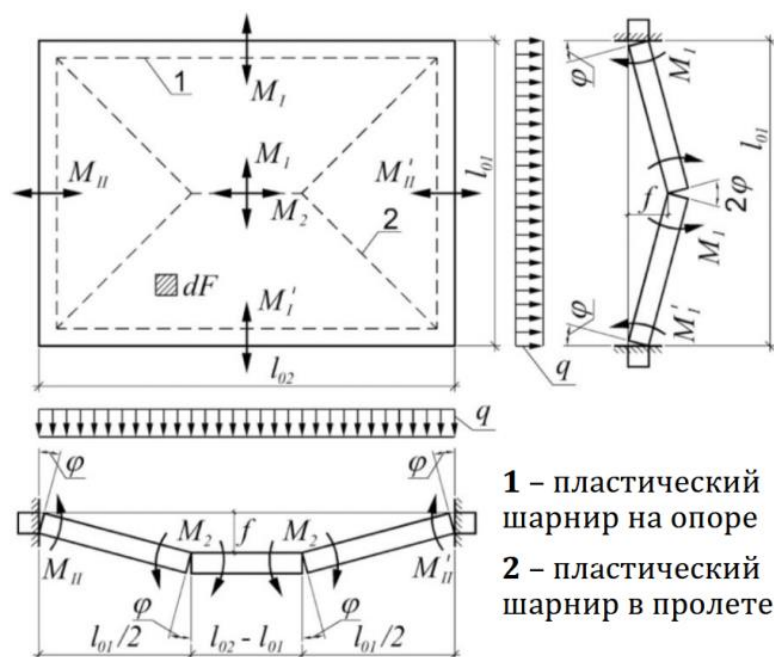


Рисунок 4 – К расчету опертых по контуру плит в общем случае по методу предельного равновесия

Высота полученных пирамид (см. рисунок 4) равняется прогибу плиты f . В таком случае при малых перемещениях угол поворота плоских фрагментов плиты определяется по формуле:

$$\varphi \cong tg\varphi = \frac{2f}{l_{01}} \quad (2)$$

Работа внешних сил будет определяться по формуле:

$$W_q = \int_0^F q z_i dF = qV = \frac{qfl_{01}(3l_{02}-l_{01})}{6}, \quad (3)$$

где q – интенсивность внешней нагрузки;

z_i – перемещение произвольной точки плиты;

F – площадь плиты;

V – объем фигуры перемещения (пирамиды);

l_{01}, l_{02} – длины пролетов.

Работа внутренних сил определяется по формуле:

$$W_M = (2\varphi M_1 + \varphi M_I + \varphi M'_I)l_{02} + (2\varphi M_2 + \varphi M_{II} + \varphi M'_{II})l_{01} \quad (4)$$

Приравняв работу внешних и внутренних сил (3) и (4) и с учетом допущения (2) получим уравнение равенства работ:

$$\frac{ql_{01}^2(3l_{02}-l_{01})}{12} = (2M_1 + M_I + M'_I)l_{02} + (2M_2 + M_{II} + M'_{II})l_{01} \quad (5)$$

Учитывая выражение (5) условие прочности плиты примет следующий вид:

$$q \leq [q_{ult}] \quad (6)$$

При этом $[q_{ult}]$ вычисляется на основе выражения (5).

Несмотря на ряд преимуществ, метод предельного равновесия при расчете плит является достаточно трудоемким, поэтому дальнейший анализ будет выполняться с применением метода конечных элементов.

Принимаем класс проектного бетона В40. Для дефектного бетона будем рассматривать классы В35, В30, В25, В20, В15. Верхнее и нижнее армирование плит принимаем Ø10A500С с шагом 200 мм. Толщина плиты составляет 150 мм.

На рисунке 5 представлено сечение по рассматриваемым плитам между зонами 4 и 6.

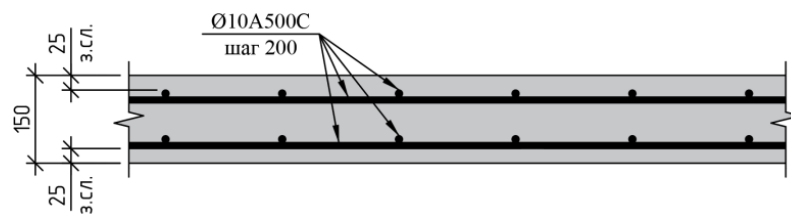


Рисунок 5 – Сечение по рассматриваемым плитам

Для описания работы арматуры A500C используется диаграмма деформирования, полученная из экспериментальных исследований (см. рисунок 6).

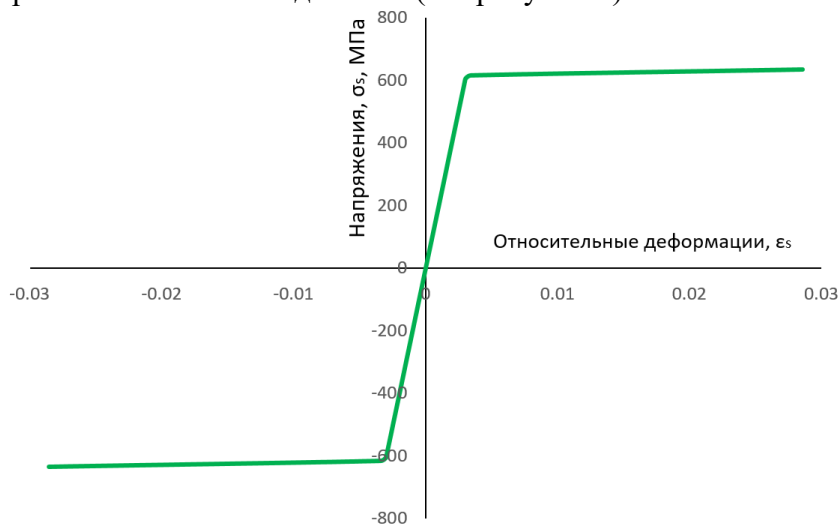


Рисунок 6 – Диаграмма деформирования арматуры класса A500C

Диаграммы деформирования бетона задаются в соответствии с российскими нормами с учетом трудов различных авторов [19-21].

На рисунке 7 представлены криволинейные диаграммы деформирования бетонов В15-В40.

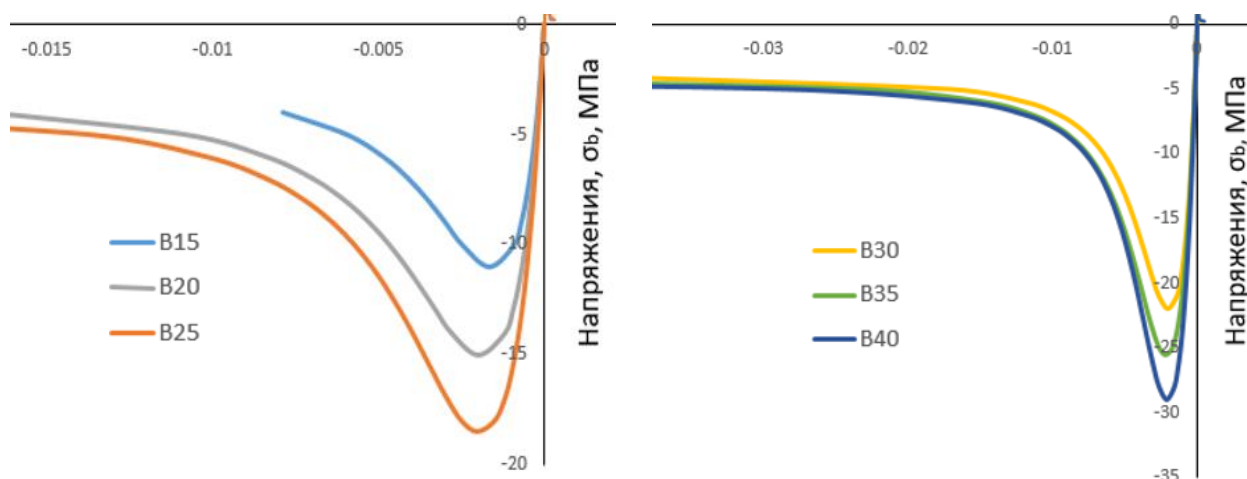


Рисунок 7 – Диаграммы деформирования бетонов В15-В40

В рамках данной работы рассматриваются пять вариантов расположения дефектного бетона с прочностью, отличающейся от проектного: вариант «1» – зона 1; вариант «2» – зона

2; вариант «3» – зона 5; вариант «4» – зоны 1, 3, 7, 9; вариант «5» – зоны 2, 4, 6, 8 (см. рисунок 8).

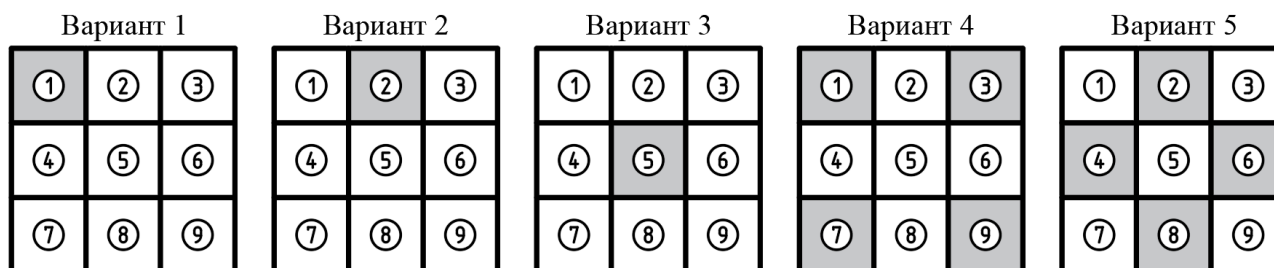


Рисунок 8 – Участки с дефектным бетоном

Для выполнения расчетов будем использовать ПК ЛИРА-САПР [22]. Предполагаем, что на плиту действует равномерно-распределенная нагрузка.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим шарнирно опертую плиту (см. рисунок 3).

На рисунке 9 представлена разрушающая нагрузка для различных вариантов расположения дефектного бетона.

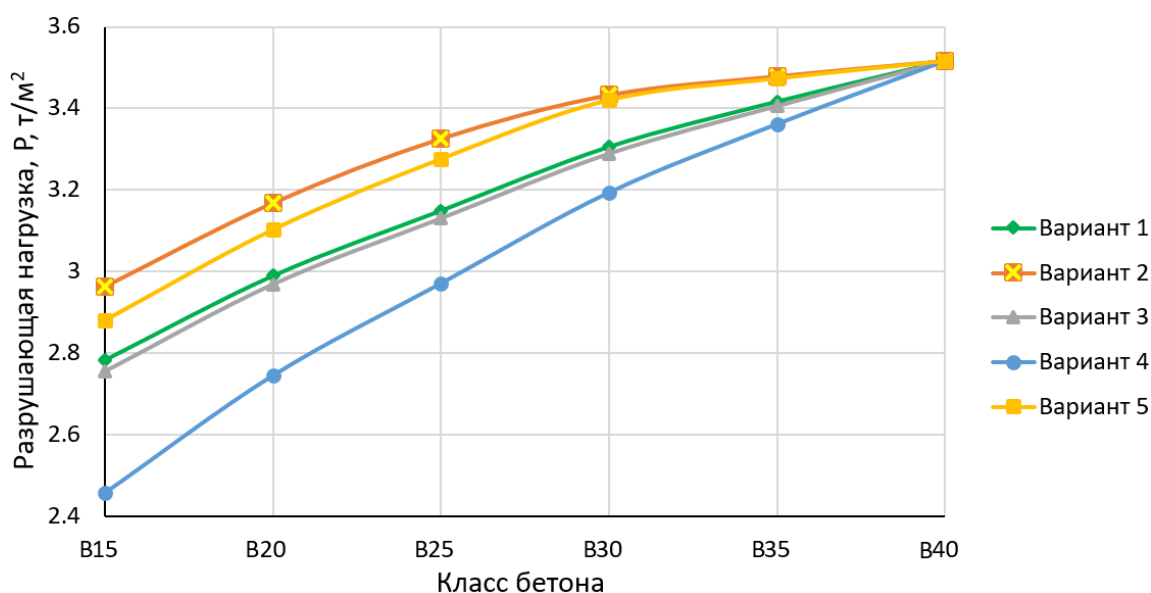


Рисунок 9 – Разрушающая нагрузка R для различных вариантов расположения дефектного бетона при шарнирно опертой плите

Из вариантов «1-3» наибольшую опасность представляет случай с расположением дефектного бетона в центральной части, но следует отметить, что расположение дефектного бетона в угловых и торцевых зонах также ведет к весомой потере несущего ресурса плиты. При дефектном бетоне B15 разрушение плиты для варианта «1» происходит при нагрузке 79,1% от исходной, для варианта «2» при нагрузке 81,9% от исходной, а для варианта «3» при нагрузке 78,3% от исходной. Следует отметить, что при комбинированном варианте «4» разрушение плиты происходит при нагрузке 69,9% от исходной.

На рисунке 10 представлены крутящие моменты M_{xy} для вариантов «1-5».

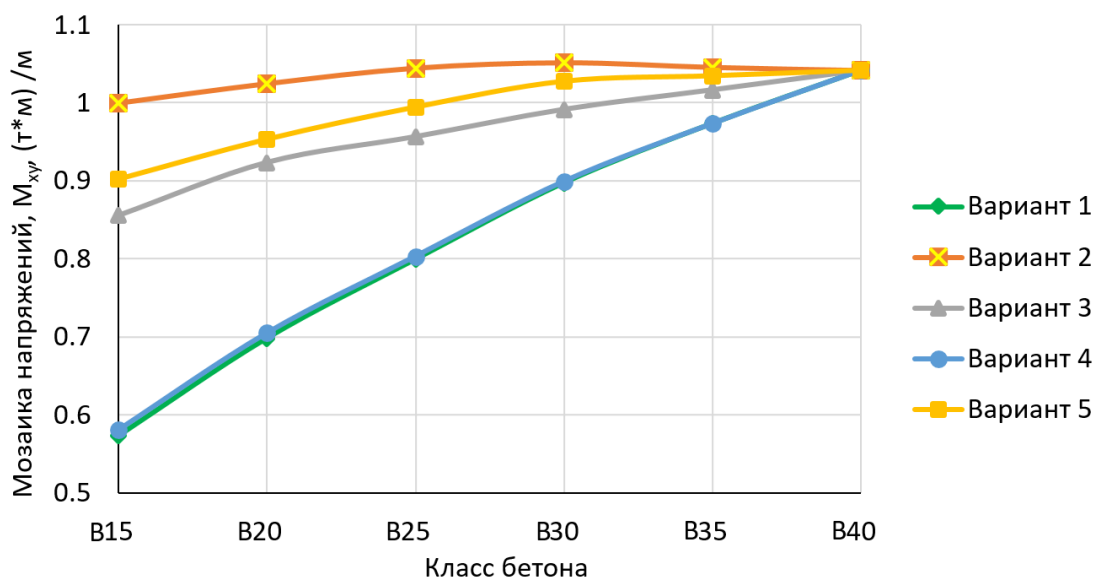


Рисунок 10 – Крутящие моменты M_{xy} для вариантов «1-5» при шарнирно опертой плите

Как видно из рисунка 10 при примерно равных крутящих моментах разница между разрушающими нагрузками для вариантов «1» и «4» при дефектном бетоне B15 составляет 11,7%. Крутящий момент M_{xy} при дефектном бетоне B15 для вариантов «1» и «4» составляет соответственно 55,0% и 55,8% от исходного.

На рисунке 11 представлены изгибающие моменты для вариантов «1-5». Приняты следующие обозначения: $M+$ – изгибающий момент в пролете; M_x и M_y – изгибающие моменты между ячейками 2 и 5 (см. рисунок 8).

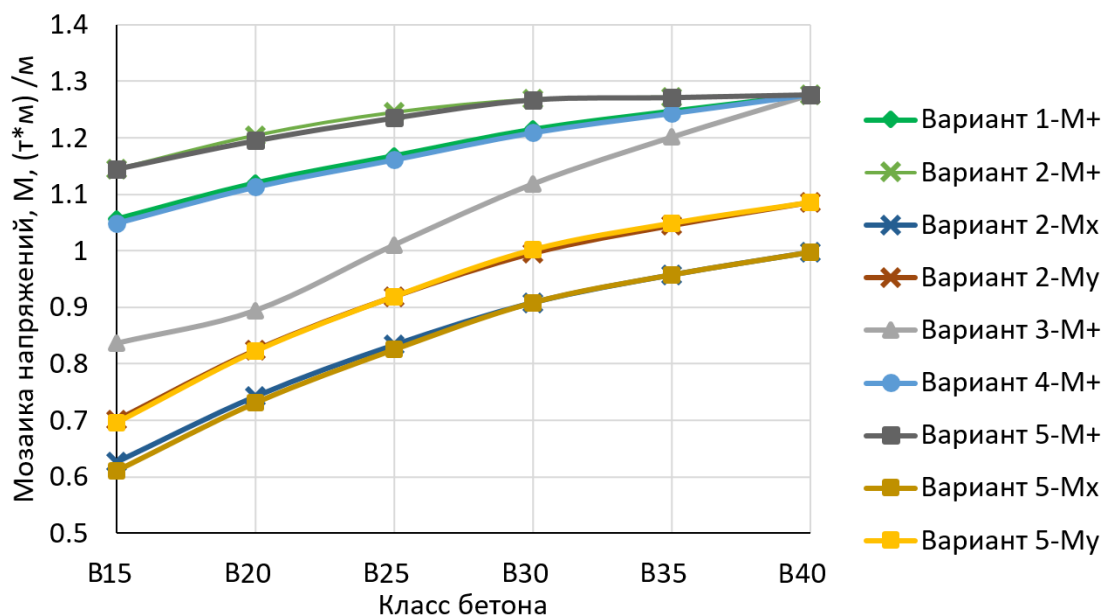


Рисунок 11 – Изгибающие моменты M для вариантов «1-5» при шарнирно опертой плите

Рассмотрим защемленную плиту (см. рисунок 3).

На рисунке 12 представлена разрушающая нагрузка для различных вариантов расположения дефектного бетона.

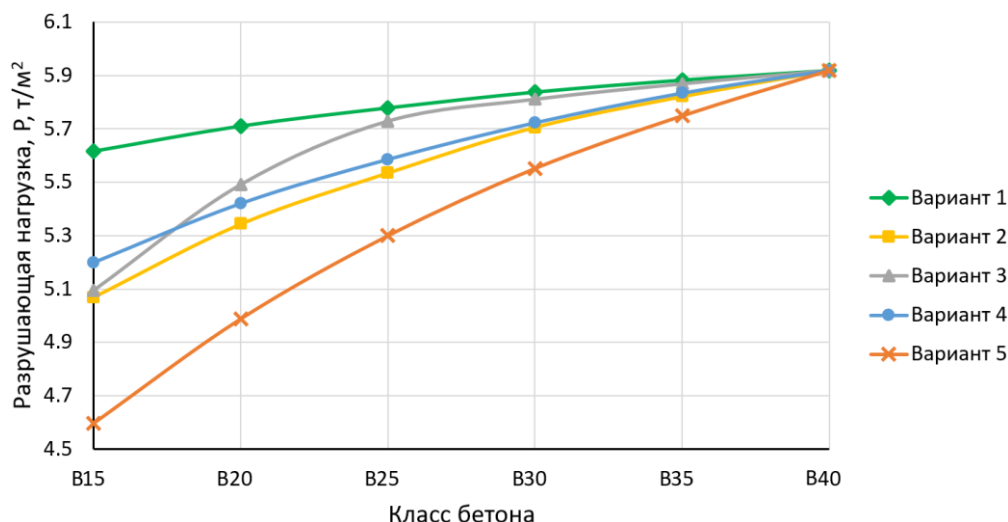


Рисунок 12 – Разрушающая нагрузка R для различных вариантов расположения дефектного бетона при защемленной плите

Из вариантов «1-3» наибольшую опасность представляют случаи с расположением дефектного бетона в вариантах «2» и «3», причем вариант «3» становится особо опасным при прочностях бетона сильно меньше исходного (B15-B20). При дефектном бетоне B15 разрушение плиты для варианта «1» происходит при нагрузке 94,9% от исходной, для варианта «2» при нагрузке 85,7% от исходной, а для варианта «3» при нагрузке 86,1% от исходной. Следует отметить, что при комбинированном варианте «5» разрушение плиты происходит при нагрузке 77,7% от исходной.

На рисунке 13 представлены крутящие моменты M_{xy} для вариантов «1» и «4».

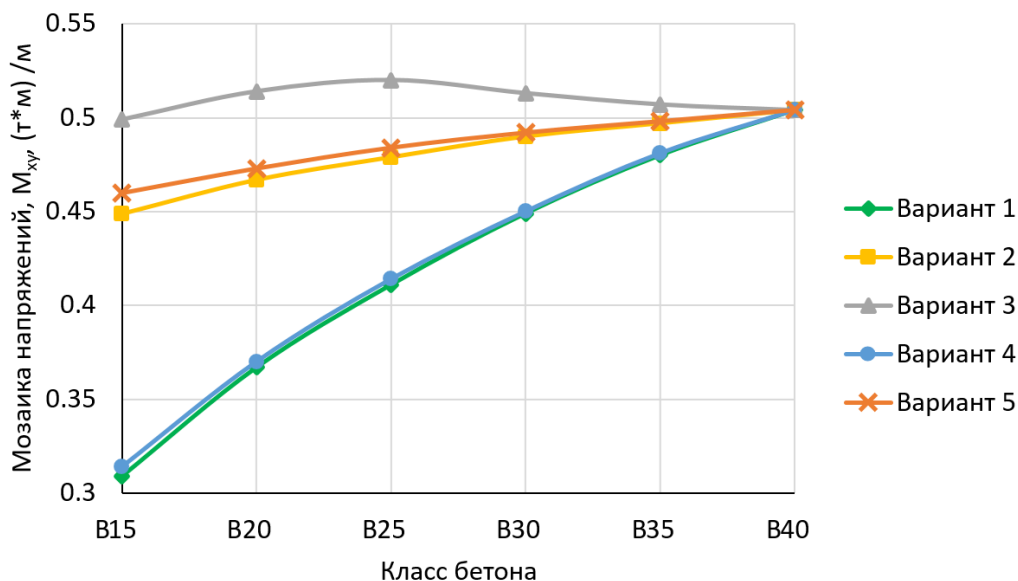


Рисунок 13 – Крутящие моменты M_{xy} для вариантов «1-4» при защемленной плите

Как видно из рисунка 13, при примерно равных крутящих моментах, разница между разрушающими нагрузками для вариантов «1» и «4» при дефектном бетоне B15 составляет 7,4%. Крутящий момент M_{xy} при дефектном бетоне B15 для вариантов «1» и «4» составляет соответственно 61,3% и 62,3% от исходного.

На рисунке 14 представлены изгибающие моменты для вариантов «1-4». Приняты следующие обозначения: M^+ – изгибающий момент в пролете; M^- – изгибающий момент на опоре; M_x и M_y – изгибающие моменты между ячейками 2 и 5 (см. рисунок 8).

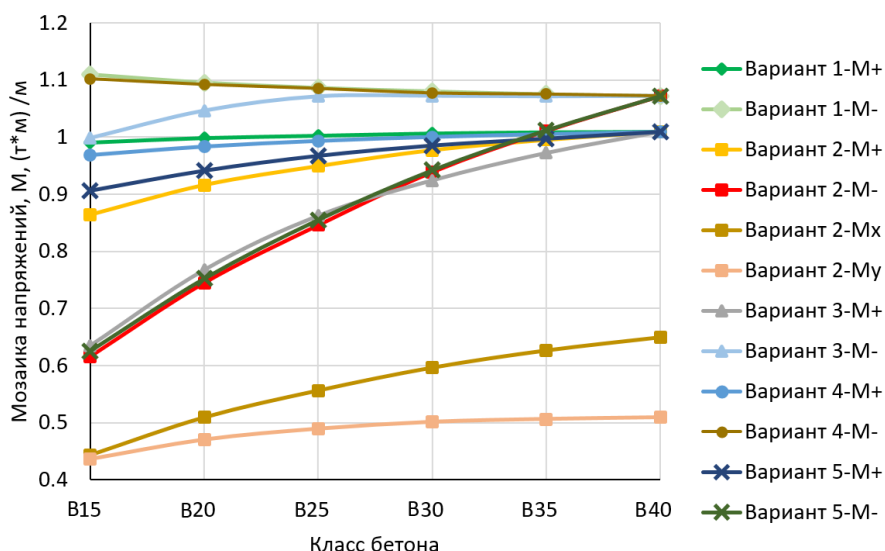


Рисунок 14 – Изгибающие моменты M для вариантов «1-4» при заземленной плите

Как видно из рисунка 14, из вариантов «1-3» наибольшие изменения при дефектном бетоне B15 наблюдаются для опорного изгибающего момента M - варианта «2» (57,5% от исходного) и пролетного изгибающего момента M + варианта «3» (62,8% от исходного). Следует отметить, что при комбинированном варианте «5» при дефектном бетоне B15 опорный момент составляет 58,3% от исходного.

Заключение

В результате проведенного анализа установлено, что наибольшую опасность для шарнирно опертых плит представляют зоны с дефектным бетоном в пролете и в угловых опорных зонах, а для заземленных плит в середине опорной зоны и в пролете. Также следует отметить, что комбинированное влияние зон с дефектами бетона может оказать более разрушительное влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. Москва: Изд-во Ассоц. стронт. вузов, 2007. 255 с.
2. Ройтман А.Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий. Москва: Стройиздат, 1978. 319 с.
3. Добромислов А.Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений // Промышленное строительство. 1990. № 9. С. 9-10.
4. Czazynsky A., Czazynsky M. Wyniki analiz katastrof konstrukcji budowlanych // Przegląd budowlany, 1988. № 12. P. 551-552.
5. Oehme P. Schöden an Sthahltrawerken: Statistische Schadensanalyse Deachtung juristischer Aspekte. Berlin: Bauinformation, 1990. 40 s.
6. Болотова А.С. Трескина Г.Е. Системный анализ причин аварий в монолитном строительстве // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сборник материалов Международной научной конференции. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. С. 229-232.
7. Gaal G.C., Veen C., Djorai M.H. Prediction of deterioration of concrete bridges in the Netherlands // Proceedings of First International Conferense on Bridge Maintenanse, Safety and Management. Barselona: International Center for Numerical Methods in Engineering, 2002. P. 111-118.
8. Волков А.С. Влияние дефектов строительства на несущую способность железобетонных конструкций монолитного каркасного здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 2(29). С. 45-56.
9. Макарова П.П. Анализ дефектов железобетонных колонн монолитных каркасов многоэтажных зданий // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2022. № 1. С. 567-570.
10. Байбурун А.Х., Погорелов С.Н. Исследование неоднородности прочности монолитных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 12-18.

11. Тамразян А.Г. Исследование влияния местной низкой прочности бетона на несущую способность изгибаемых железобетонных балок // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 5, № 1. С. 3-14.
12. Тамразян А.Г. Перераспределения усилий в статически неопределимых корродированных железобетонных балках // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 8, № 4. С. 5-13.
13. Тамразян А.Г., Кудрявцев М.В. Влияние коррозионных повреждений арматуры на динамическое состояние сжатых железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2025. №2. С. 81-93.
14. Тамразян А.Г., Мацеевич Т.А. Анализ надежности железобетонной плиты с корродированной арматурой // Строительство и реконструкция. 2022. № 1(99). С. 89-98.
15. Butcher J.B., Day C.R., Austin J.C., Haycock P.W., Verstraeten D., Schrauwen B. Defect detection in reinforced concrete using random neural architectures // Computer aided civil and infrastructure engineering. 2014. №3. P. 191-207.
16. Губа В.В., Герасименко В.Г., Мастепан А.Н. Городничий А.В., Кротов Р.В. Особенности реологической модели вибрируемой бетонной смеси и ее влияние на прочность // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 3, № 9(45). С. 35-38.
17. Тамразян А. Г. Вероятностный метод расчета долговечности железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021: Сборник докладов Второй Национальной научной конференции, Москва, 08 декабря 2021 года. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. С. 100-106.
18. Тамразян А.Г. Минеев М.С. Калибровка модели коррозионного растрескивания защитного слоя бетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 2(94). С. 56-62.
19. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. Москва: Стройиздат, 1996. 416 с.
20. Колчунов Вл.И. Модель расчета параметров предельных состояний железобетонных конструкций. // Строительство и реконструкция. 2025. №2. С. 4-13.
21. Колчунов Вл.И. Физическая суть сопротивления бетона и железобетона от дислокаций до трещин // Строительство и реконструкция. 2022. № 4(102). С. 15-33.
22. Городецкий А.С., Барабаш М.С. Учет нелинейной работы железобетона в ПК ЛИРА-САПР. Метод «Инженерная нелинейность» // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2016. Т. 12, №2. С.92-98.

REFERENCES

1. Perel'muter A.V. Izbrannye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nyh konstrukcij. Moskva: Izd-vo Assoc. stroit. vuzov, 2007. 255 s.
2. Rojzman A.G. Remont i rekonstrukcija zhilyh i obshhestvennyh zdaniy. Moskva: Strojizdat, 1978. 319 s.
3. Dobromyslov A.N. Analiz avarij promyshlennyh zdaniy i inzhenernyh sooruzhenij // Promysh-lennoe stroitel'stvo. 1990. № 9. S. 9-10.
4. Czazynsky A., Czazynsky M. Wyniki analiz katastrof konstrukcji budowlanych // Przegląd budowlany, 1988. № 12. P. 551-552.
5. Oehme P. Schöden an Sthahltrawerken: Statistische Schadensanalyse Deachtung juristischer Aspekte. Berlin: Bauinformation, 1990. 40 s.
6. Bolotova A.S. Treskina G.E. Sistemnyj analiz prichin avarij v monolitnom stroitel'stve // Integracija, partnerstvo i innovacii v stroitel'noj nauke i obrazovanii: Sbornik materialov Mezhduna-rodnoj nauchnoj konferencii. Moskva: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stro-itel'nyj universitet, 2015. S. 229-232.
7. Gaal G.C., Veen C., Djorai M.H. Prediction of deterioration of concrete bridges in the Netherlands // Proceedings of First International Conferense on Bridge Maintenance, Safety and Management. Barselona: International Center for Numerical Methods in Engineering, 2002. P. 111-118.
8. Volkov A.S. Vlijanie defektov stroitel'stva na nesushhuju sposobnost' zhelezobetonnyh kon-strukcij monolitnogo karkasnogo zdaniya // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2015. № 2(29). S. 45-56.
9. Makarova P.P. Analiz defektov zhelezobetonnyh kolonn monolitnyh karkasov mnogojetazhnyh zdaniy // Inzhenernye kadry – budushhee innovacionnoj jekonomiki Rossii. 2022. № 1. S. 567-570.
10. Bajburin A.H., Pogorelov S.N. Issledovanie neodnorodnosti prochnosti monolitnyh konstruk-cij // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2012. №3. S. 12-18.
11. Tamrazyan A.G. Issledovanie vlijaniya mestnoj nizkoj prochnosti betona na nesushhuju sposobnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh balok // Zhelezobetonnye konstrukcii. 2024. Т. 5, № 1. S. 3-14.
12. Tamrazyan A.G. Pereraspredelenija usilij v staticheski neopredelimyh korrodirovannyh zhele-zobetonnyh balkah // Zhelezobetonnye konstrukcii. 2024. Т. 8, № 4. S. 5-13.
13. Tamrazyan A.G., Kudrjavcev M.V. Vlijanie korrozionnyh povrezhdenij armatury na dinamicheskoe sotojanie szhatyh zhelezobetonnyh konstrukcij // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2025. №2. S. 81-93.
14. Tamrazyan A.G., Maceevich T.A. Analiz nadezhnosti zhelezobetonnoj plyty s korrodirovannoj ar-maturoj // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. № 1(99). S. 89-98.
15. Butcher J.B., Day C.R., Austin J.C., Haycock P.W., Verstraeten D., Schrauwen B. Defect detection in reinforced concrete using random neural architectures // Computer aided civil and infrastructure engineering. 2014. №3. P. 191-207.

16. Guba V.V., Gerasimenko V.G., Mastepan A.N. Gorodnichij A.V., Krotov R.V. Osobennosti reologicheskoy modeli vibriruemoy betonnoj smesi i ee vlijanie na prochnost' // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. 2010. T. 3, № 9(45). S. 35-38.
17. Tamrazyan A. G. Veroyatnostnyj metod rascheta dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij, podverzhennyh vozdejstviyu hloridov // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya – 2021: Sbornik dokladov Vtoroj Nacional'noj nauchnoj konferencii, Moskva, 08 dekabrya 2021 goda. Moskva: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2022. S. 100-106.
18. Tamrazyan A.G. Mineev M.S. Kalibrovka modeli korrozionnogo rastreskivaniya zashhitnogo sloja betona // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2021. № 2(94). S. 56-62.
19. Karpenko N.I. Obshhie modeli mehaniki zhelezobetona. Moskva: Strojizdat, 1996. 416 s.
20. Kolchunov V.I. Model' rascheta parametrov predel'nyh sostojanij zhelezobetonnyh konstrukcij. // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2025. №2. S. 4-13.
21. Kolchunov V.I. Fizicheskaja sut' soprotivlenija betona i zhelezobetona ot dislokacij do treshhin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. № 4(102). S. 15-33.
22. Gorodeckij A.S., Barabash M.S. Uchet nelinejnoj raboty zhelezobetona v PK LIRA-SAPR. Metod «Inzhenernaja nelinejnost'» // Mezhdunarodnyj zhurnal po raschetu grazhdanskih i stroitel'nyh konstrukcij. 2016. T. 12, №2. S.92-98.

Информация об авторах

Тамразян Ашот Георгиевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: tamrazian@mail.ru

Садоян Гамлет Андрикович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
Аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: sadoyangamlet@mail.ru

Information about authors

Tamrazyan Ashot G.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia,
Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: tamrazian@mail.ru

Sadoyan Hamlet A.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia,
Postgraduate student.
E-mail: sadoyangamlet@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.03.2025
Одобрена после рецензирования 12.06.2025
Принята к публикации 14.06.2025

The article was submitted 30.03.2025
Approved after reviewing 12.06.2025
Accepted for publication 14.06.2025