



УДК: 69.05, 69.059.3

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.12

EDN: GRHYCN

Конструктивно-технологические особенности усиления монолитных железобетонных плит, подвергшихся явлению морозной деструкции

А.Б. Антаков¹, Р.Х. Мухаметрахимов¹, Л.С. Сафонова², Р.З. Рахимов¹,
О.В. Хохряков¹

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань,
Российская Федерация

² ООО «ПКБ «Казань», г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Одной из основных задач при зимнем бетонировании является создание оптимальных условий для бетонирования. В условиях низкой температуры и влажности, бетон может не получить нужной прочности и качества, что может негативно сказаться на долговечности здания или сооружения. Цель данной работы состоит в выявлении конструктивно-технологических особенностей при усилении монолитной железобетонной плиты перекрытия, подвергшейся явлению морозной деструкции при зимнем бетонировании. Задачами исследования являются: проведение визуально-инструментального обследования объекта, обзор существующих способов усиления монолитных плит перекрытия, проведение поверочных расчетов на соответствие проектным нагрузкам, разработка конструктивно-технологического решения усиления.

Результаты. Разработана модель напряженно-деформированного состояния плиты с учетом рекомендуемого варианта усиления, а также представлены результаты разработки конструктивно-технологических решений по усилению плиты, подвергшейся явлению морозной деструкции верхних слоев. Данное решение включает в себя восстановление защитного слоя, установку дополнительной армированной сетки, устройство набетонки мелкозернистым бетоном.

Выводы. Разработанное конструктивно-технологическое решение, включающее восстановление защитного слоя, установку дополнительной арматурной сетки и устройство набетонки, позволяет восстановить проектную несущую способность и жесткость плиты перекрытия, поврежденной при зимнем бетонировании. Результаты моделирования подтвердили снижение максимального прогиба с 69,2 мм до 33,9 мм, что соответствует нормативным требованиям. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенного метода при устранении аналогичных дефектов в условиях действующего строительства и реконструкции без значительного увеличения трудозатрат и нагрузок на фундаменты.

Ключевые слова: монолитный железобетон, зимнее бетонирование, морозная деструкция, пересушивание бетона, монолитный железобетон, промораживание бетона, усиление.

Для цитирования: Антаков А.Б., Мухаметрахимов Р.Х., Сафонова Л.С., Рахимов Р.З., Хохряков О.В. Конструктивно-технологические особенности усиления монолитных железобетонных плит, подвергшихся явлению морозной деструкции // Известия КГАСУ, 2026, № 1(75), с. 136-147, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.12, EDN: GRHYCN

Structural and technological features of strengthening monolithic reinforced concrete slabs subjected to frost destruction

R.Kh. Mukhametrakhimov¹, L.S. Safonova², A.B. Antakov¹, R.Z. Rakhimov¹,
O.V. Khokhryakov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

²“PKB Kazan” LLC, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* One of the main challenges in winter construction is providing optimal conditions for concreting. Under low temperatures and high humidity, concrete may fail to achieve the required strength and quality, which can adversely affect the durability of a building or structure. The aim of this work is to identify the structural and technological features of strengthening a monolithic reinforced concrete floor slab subjected to frost destruction during winter concreting. The tasks of the study are as follows: conducting a visual and instrumental inspection of the structure; reviewing existing methods for strengthening monolithic floor slabs; performing verification calculations to ensure compliance with design loads; and developing a structural and technological solution for strengthening.

Results. A model of the stress-strain state of the slab has been developed considering the recommended strengthening option. The results of the development of structural and technological solutions for strengthening the slab, which has suffered from frost destruction in its upper layers, are presented. This solution includes restoring the protective concrete cover, installing an additional reinforcing mesh, and placing a layer of fine-grained concrete topping.

Conclusions. The developed design and engineering solution, which includes restoring the protective layer, installing additional reinforcing mesh, and applying concrete, allows for the restoration of the design load-bearing capacity and rigidity of a floor slab damaged during winter concreting. Modeling results confirmed a reduction in maximum deflection from 69.2 mm to 33.9 mm, which complies with regulatory requirements. The practical significance of this work lies in the potential application of the proposed method to correct similar defects in existing construction and renovation projects without significantly increasing labor costs or foundation loads.

Keywords: monolithic reinforced concrete; winter concreting; frost destruction; concrete desiccation; concrete freezing; strengthening.

For citation: Antakov A.B., Mukhametrakhimov R.Kh., Safonova L.S., Rakhimov R.Z., Khokhryakov O.V. Structural and technological features of strengthening monolithic reinforced concrete slabs subjected to frost destruction // News of KSUAE, 2026, № 1(75), p. 136-147, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.12, EDN: GRHYCN

1. Введение

Как показывает опыт зимнего бетонирования, слабым звеном в процессе ухода за бетоном является ненадлежащий контроль за параметрами прогрева конструкции. В связи с этим существует риск его «пересушивания» при слишком интенсивном прогреве, либо замораживания при преждевременном отключении от питающей сети. При «пересушивании» он обезвоживается, процесс гидратации замедляется и образуется пористая структура, которая влияет на качество и долговечность конструкции. Вследствие этого бетон не набирает проектные свойства, образуются трещины и отслоения [1,2].

В случае несоблюдения условий прогрева бетона, уложенная в опалубку бетонная смесь может замерзнуть. После замерзания вода превращается в лед и увеличивается в объеме. Образуется морозная деструкция, при которой железобетонная конструкция получает повреждения, влияющие на несущую способность сечений. В отдельных

случаях процесс гидратации может остановиться, при этом дальнейший прогрев замороженной конструкции не приведет к набору проектной прочности.

Отрицательное воздействие низкой температуры на бетон в первую очередь связано с процессом замерзания химически несвязанной воды, находящейся в его порах.

Необходимость усиления железобетонных плит возникает как для эксплуатируемых зданий в связи с естественным физическим и моральным износом конструкций, так и для новых, строящихся объектов, по следующим причинам:

- перепланировка, изменение назначения помещений (увеличение нагрузки на перекрытие);

- ошибки при проектировании;

- нарушение технологии при строительстве, отклонения от проекта;

- повреждения вследствие пожара и другие [3,4].

При выборе технических решений усиления плиты перекрытия или покрытия основными требованиями являются:

- обеспечение безопасной эксплуатации (безотказность в течение срока службы здания или сооружения);

- надежность и долговечность (например, обеспечение неподатливого объединения усиливаемой и усиливающей частей, если другое не обосновано расчетным путем);

- минимизация стоимости, трудоемкости, продолжительности работ [5].

Вопросам усиления сборных и монолитных железобетонных плит посвящен ряд исследований. Так, в работе [6] выполнен обзор актуальных методов усиления сборных конструкций с их сравнительным анализом. В «Атласе схем и чертежей» [7] представлены подробные конструктивные решения по восстановлению аварийных зданий. Метод наращивания сечения с оценкой совместной работы старого и нового бетона детально рассмотрен в [8]. Дополнительные типовые решения содержатся в каталоге ЦНИИПромзданий [9]. Численному моделированию зон продавливания плит при несоосности колонн в ПК «ЛИРА-САПР» посвящено исследование [10]. Обобщая представленные подходы, следует отметить, что существующие технические решения подразделяются на две основные группы: традиционные, базирующиеся на использовании железобетона, и современные, ориентированные на применение композитных материалов [11-13].

К традиционным способам относят наращивание (набетонка) сверху или снизу (подрачивание) от сечения с возможным применением анкеров для обеспечения совместной работы усиливаемой и усиливающей частей.

При наращивании сечения сверху дополнительную арматуру, как правило, укладывают как надпорную для неразрезных плит, в пролетной же части достаточным является увеличение высоты сечения (рис. 1). Минимальная толщина набетонки – 30 мм. Перед бетонированием подготавливают поверхность - выполняют насечку (на глубину 0.5 – 1 см), очистку и увлажнение поверхности бетона. В отдельных случаях, если качество поверхности плиты невозможно установить вследствие промасливания или других причин, плиту набетонки следует рассчитывать как работающую отдельно, с податливым швом.

При невозможности усиления плит сверху, прибегают к наращиванию сечения снизу. Оно выполняется торкретированием с установкой дополнительной арматуры в виде сеток, стержни которой привариваются через коротыши с шагом 50 – 70 см к рабочей арматуре существующей плиты перекрытия (рис. 2).

Для достижения необходимого сцепления бетона возможно применение шпоночных соединений плит, применение анкеров.

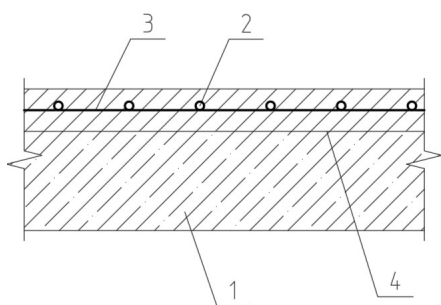


Рис. 1 Плита, усиленная наращиванием сверху:

1 – существующая плита, 2 – набетонка, 3 – арматурная сетка, 4 – шов
(иллюстрация авторов)

Fig. 1 Slab reinforced with an extension from above: 1 – existing slab, 2 – concrete topping, 3 – reinforcing mesh, 4 – joint
(illustration by the authors)

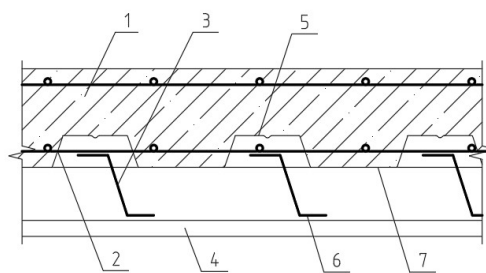


Рис.2 Плита, усиленная наращиванием снизу:

1 – существующая плита, 2 – рабочая арматура, 3 – коротыш, 4 – торкретбетон, 5 – вырубленные борозды в бетоне, 6 – сварка, 7 – шов (иллюстрация авторов)

Fig.2 Slab reinforced with extension from below: 1 – existing slab, 2 – working reinforcement, 3 – short plate, 4 – shotcrete, 5 – cut grooves in concrete, 6 – welding, 7 – joint
(illustration by the authors)

В случае усиления с применением углепластиков, последние приклеивают в растянутой зоне конструкции с расположением фибры в направлении растягивающих усилий (рис. 3). Поскольку плита перекрытия работает в двух направлениях, то система усиления двунаправленная. Проектирование усиления композитными материалами регламентируется СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования».

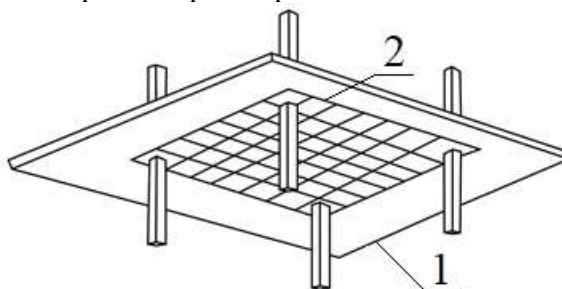


Рис.3 Плита, усиленная наклейной углеволокна

1 существующая плита, 2 – углеволокно (иллюстрация авторов)

Fig.3 Slab reinforced with carbon fiber sticker

1 – existing slab, 2 – carbon fiber (illustration by the authors)

На плиту перекрытия наклеиваются изделия заводского изготовления из композитных материалов (ламинатов) или послойно наклеиваются термореактивными адгезивами изделия из непрерывного углеродного или стеклянного волокна (холстов, сеток и других тканых материалов) с последующим отверждением и образованием однослойного или многослойного композитного материала.

К достоинствам применения композитных материалов относят высокую прочность и модуль упругости с меньшим удельным весом по сравнению со сталью, стойкость к коррозионным процессам. Для усиления железобетонных конструкций рекомендуется применять углеволокнонные изделия, поскольку они обладают прочностными свойствами, близкими к стали [14-16].

В то же время традиционные методы в виде наращивания сечения отличаются доступностью материалов, известной и простой технологией работ, имеют хорошую апробацию в плане расчетов.

Целью данной работы является разработка конструктивно-технологического решения усиления монолитной железобетонной плиты перекрытия, подвергшейся явлению морозной деструкции при зимнем бетонировании.

Задами исследования являются: проведение визуально-инструментального обследования объекта, проведение поверочных расчетов на соответствие проектным нагрузкам, разработка конструктивно-технологического решения усиления.

2. Материалы и методы

Объектом исследований является монолитная железобетонная плита перекрытия, подвергшаяся явлению морозной деструкции верхних слоев. Каркас здания представляет собой систему параллельно расположенных трехэтажных рам, состоящих из шести пролетов по 6,0 м и одного пролета 7,33 м. Несущий каркас имеет конструктивную схему с продольными ригелями и обвязочными балками по периметру и состоит из трех основных конструктивных элементов: колонн, ригелей и перекрытий.

Пространственная устойчивость и неизменяемость каркаса здания обеспечивается в продольном направлении рамной конструкцией, состоящей из колонн, жестко сопряженных с фундаментами, и жестко сопряженных с ними ригелями. За основу неизменяемости каркаса в горизонтальной плоскости приняты три сплошных диска жесткости, образованных монолитными перекрытиями, а также двумя ядрами жесткости в виде лестничных клеток.

При визуально-инструментальном обследовании конструкций объекта исследования выявлено, что плита перекрытия не имеет дефектов и повреждений, связанных с трещинообразованием и чрезмерными прогибами, имеет визуально определяемые признаки повреждений – замораживание поверхностных слоев (рис. 4), имеет класс бетона по прочности на сжатие В15, что ниже проектных значений В25.



Рис.4 Вскрытый дефект в виде промораживания поверхности слоев «пузырь» в зоне консоли (иллюстрация авторов)

Fig.4 Uncovered defect in the form of freezing of the surface of the layers "bubble" in the console area (illustration by the authors)

При анализе образования дефектов в виде отрыва промороженного слоя бетона с образованием полостей после включения электрообогрева установлено, что прогрев выполнен с некоторым перерывом после приема бетона и вероятно с нарушениями режима в части скорости и температуры нагрева. В результате бетон верхних слоев плиты имеет наибольшую степень повреждения структуры в зонах раскладки кабелей обогрева.

На следующем этапе выполнены поверочные расчеты с целью оценки несущей способности конструкций каркаса, достаточности принятого в проекте армирования и разработки конструктивно-технологических решений для обеспечения нормативных требований по конструкционной безопасности каркаса с учетом фактически измеренных параметров в программном комплексе «Мономах-САПР».

В процессе расчетов моделировался несущий каркас здания с учетом фактической прочности бетона конструкций.

3. Результаты и обсуждение

В результате выполненных поверочных расчетов получены характерные эпюры и мозаики деформаций и напряжений несущих элементов монолитного каркаса при фактической прочности бетона плиты перекрытия (рис. 6).

Максимальное значение деформации плиты перекрытия составляет $f_z = 69,2$ мм. Максимально допустимый прогиб составляет $f_z = \frac{10400}{250} = 41,6$ мм.

Следовательно, жесткость плиты перекрытия не обеспечена. Сравним расчетное армирование плиты перекрытия 1-го этажа с проектным (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение расчетного армирования плиты перекрытия 1-го этажа с проектным

Расположение арматуры	По выполненному расчету		По проекту	
	по оси х ø/шаг, мм	по оси у ø/шаг, мм	по оси х ø/шаг, мм	по оси у ø/шаг, мм
1	2	3	4	5
нижняя основная	Ø 10A500/200	Ø 12A500/200	Ø 12A500/200	Ø 12A500/200
нижняя дополнительная	-	Ø 10A500/200	Ø 12A500/200	Ø 12A500/200
верхняя основная	Ø 12A500/200	Ø 12A500/200	Ø 12A500/200	Ø 12A500/200
верхняя дополнительная	Ø 12A500/200	Ø 16A500/200 Ø 12A500/200	Ø 12A500/200 Ø 12A500/150 Ø 12A500/125 Ø 12A500/100 Ø 8A500/200	Ø 16A500/200 Ø 16A500/150 Ø 16A500/125 Ø 12A500/200 Ø 12A500/150 Ø 12A500/125 Ø 8A500/200
поперечное армирование	-	-	-	-

Как видно в табл. 1, несущая способность плиты перекрытия обеспечена за исключением участков, имеющих превышение допустимого прогиба, требующих усиления.

При проектных значениях прочности бетона получены следующие результаты:

Максимальная деформация плиты перекрытия составляет $f_z = 41,7 - \frac{3,69+1,69}{2} = 39,01$ мм (рис. 5, 6). Максимально допустимый прогиб составляет $f_z = \frac{8550}{220,8} = 38,7$ мм.

Следовательно, жесткость плиты перекрытия при проектном классе бетона В25 обеспечена за исключением участков, требующих усиления.

Таким образом, с учетом полученных результатов предлагается конструктивно-технологическое решение в виде наращивания бетона сверху.

На следующем этапе предложена последовательность производства работа по усилению консоли плиты перекрытия:

1) подготовить поверхности: срубить рыхлые, промороженные и вспученные участки защитного слоя, в том числе на торцевой поверхности; выполнить срубку бетона защитного слоя края плиты шириной 300 ± 50 мм на глубину 30–50 мм. Работы осуществлять после установки страховочных винтовых стоек под консоль.

2) выполнить разметку, подготовку и укладку стержней нижнего слоя сетки усиления с шагом 200 ± 50 мм; стержни, попадающие в выдолбленные ниши, приварить к двум крайним стержням верхней сетки плиты; укладку и фиксацию стержней другого направления выполнять непосредственно перед устройством набетонки.

3) восстановить защитный слой торцевой поверхности плиты и зону очищенной полосы вдоль края ремонтным составом (например, МБР400 «Гора Хрустальная» ТУ 5745-008-16767071-2006).

4) выполнить очистку и грунтовку поверхности железобетонной плиты перекрытия насечкой или обработкой металлическими щетками, а также промывкой под давлением.

Для улучшения адгезии в зоне контакта «старого» и «нового» бетонов обработать поверхность составом «Бетоноконттакт» или эмульсией ПВА.

5) произвести кладку наружной стены.

6) установить стержни сетки усиления вдоль консольного свеса с проваром в каждом пересечении.

7) установить арматурные анкеры в пробуренные скважины $\varnothing 10$ мм на клеящие составы («Hilti», «Baf» или аналогичные).

8) устроить набетонку из мелкозернистого бетона класса не менее B25 толщиной 50 мм на расстояние 1,0 м за буквенную ось А. Набетонку консольной части выполнять одновременно с остальными участками усиливаемого перекрытия.

9) обеспечить уход за бетоном в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012.

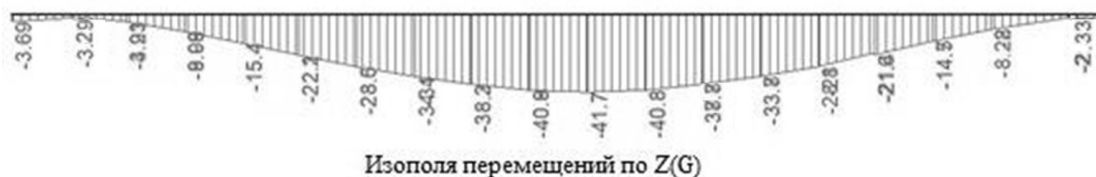


Рис.5. Эпюра вертикальных перемещений плиты перекрытия первого этажа (иллюстрация авторов)

Fig.5. Plot of vertical movements of the floor slab of the first floor (illustration by the authors)

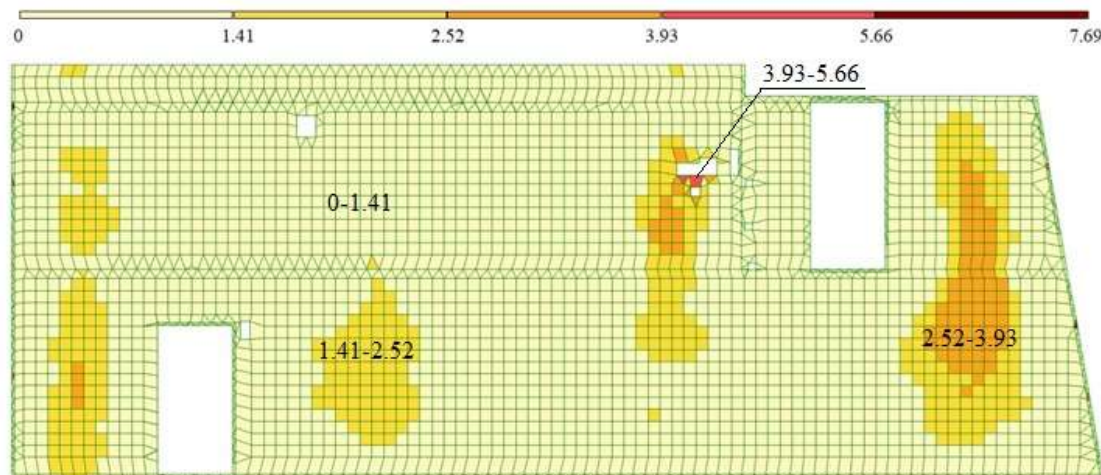


Рис. 6. Изополя интенсивности армирования плиты перекрытия первого этажа по оси X у нижней грани (cm^2) (иллюстрация авторов)

Fig. 6. Iso-fields of the intensity of reinforcement of the first floor slab along the X axis at the lower face (cm^2) (illustration by the authors)

С учетом набетонки (наращивания сечения сверху) общая толщина плиты перекрытия составит 250 мм, приведенный класс бетона принят B15 (рис. 11).

Максимальная деформация плиты перекрытия составляет $f_z = 35,4 - (0,515 + 2,54) / 2 = 33,9$ мм (рис. 7, 8). Максимально допустимый прогиб составляет $[f_z] = 8550 / 220,8 = 38,7$ мм. Следовательно, жесткость плиты перекрытия обеспечена.

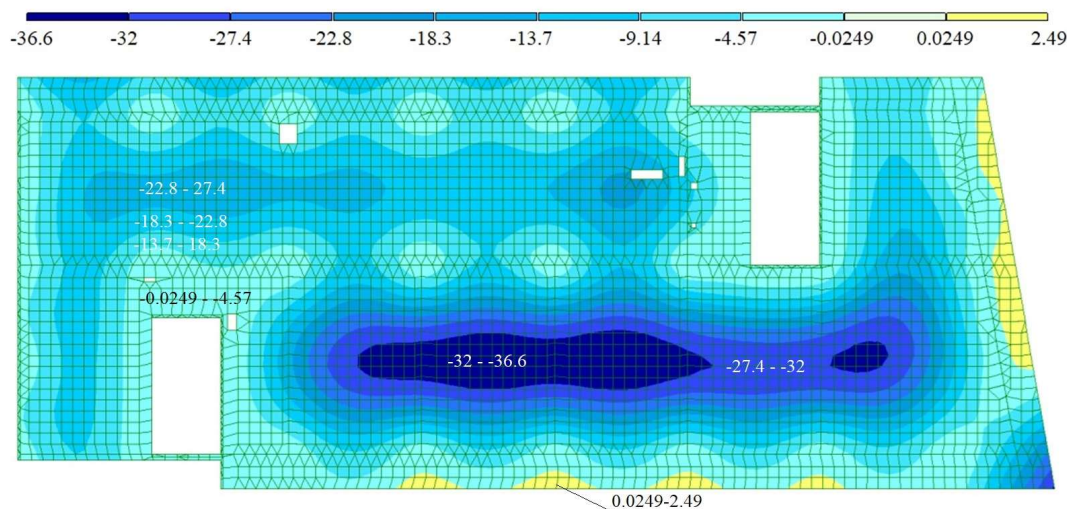


Рис. 7. Изополя вертикальных перемещений плиты перекрытия 1-го этажа.
(иллюстрация авторов)

Fig. 7. Iso-fields of vertical movements of the floor slab of the 1st floor.
(illustration by the authors)



Рис. 8. Эпюра вертикальных перемещений плиты перекрытия 1-го этажа
(иллюстрация авторов)

Fig. 8. Plot of vertical movements of the floor slab of the 1st floor (illustration by the authors)

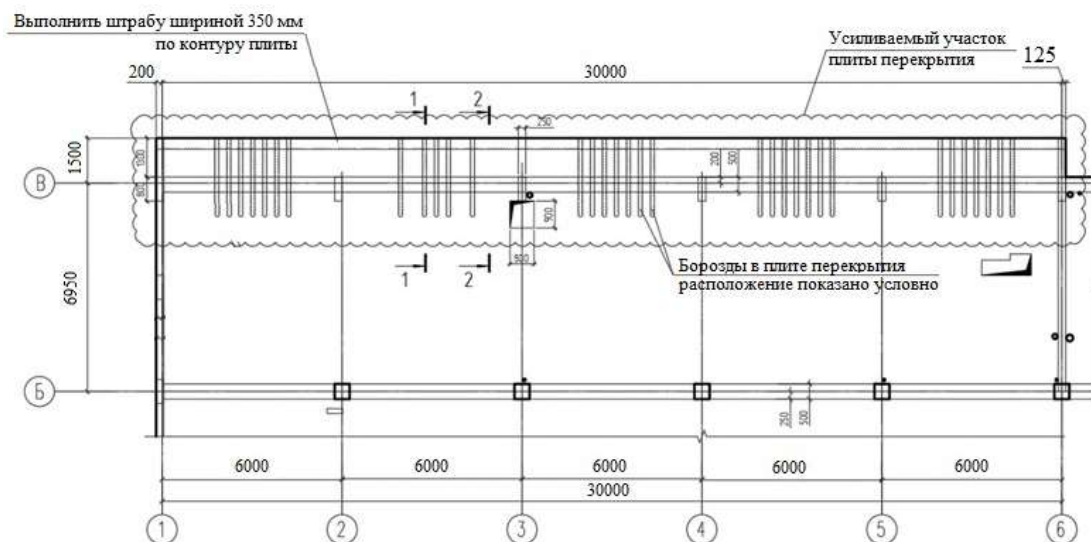


Рис. 9. Фрагмент усиленного участка плиты перекрытия (иллюстрация авторов)

Rice. 9. Fragment of the reinforced section of the floor slab (illustration by the authors)

Полученные результаты согласуются с выводами, представленными в работах [17], где также отмечается эффективность наращивания сечения сверху для восстановления несущей способности плит перекрытия при локальных повреждениях верхнего слоя. Таким образом, результаты исследования подтверждают ранее установленные положения о целесообразности использования набетонки для усиления изгибаемых элементов [18-20] и дополняют их конкретными данными о параметрах напряженно-деформированного состояния плиты, поврежденной вследствие нарушения технологии зимнего бетонирования.

4. Заключение

1. В результате визуально-инструментального обследования выявлены характерные признаки морозной деструкции верхних слоев монолитной железобетонной плиты перекрытия (снижение прочности, нарушение сцепления, наличие дефектных зон), что подтвердило необходимость проведения усиливающих мероприятий для обеспечения дальнейшей надежности конструкции.

2. Анализ существующих способов усиления монолитных плит перекрытия показал, что наиболее технологичным и экономически целесообразным в условиях восстановления поврежденного верхнего слоя является метод устройства армированной набетонки, совмещенной с функциями выравнивающей стяжки.

3. Выполненные поверочные расчеты подтвердили, что существующее армирование плиты обладает достаточной несущей способностью для восприятия проектных нагрузок при условии восстановления совместной работы сечения. Моделирование напряженно-деформированного состояния усиленной плиты показало, что включение в работу дополнительной набетонки с армирующей сеткой обеспечивает соответствие жесткостных параметров перекрытия нормативным требованиям.

4. Разработано конструктивно-технологическое решение по усилению плиты, которое включает:

- удаление деструктированного слоя и восстановление защитного слоя бетона;
- установку дополнительной арматурной сетки с обеспечением ее анкеровки в теле плиты;
- устройство слоя набетонки из мелкозернистого бетона повышенной прочности.

5. Практическая значимость работы заключается в том, что предложенное конструктивно-технологическое решение позволяет не только восстановить проектную несущую способность плиты, поврежденной в результате нарушения технологии зимнего бетонирования, но и повысить ее жесткость и трещиностойкость в процессе дальнейшей эксплуатации.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ.

Acknowledgments

The work was carried out at the expense of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to educational organizations of higher education, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral theses and perform research.

Список литературы/ References

1. Леонтьев С.В., Авдеев П.П., Грибков Г.В. Проблемы зимнего бетонирования и пути их решения // Инженерный вестник Дона. 2022. № 1(85).
Leontiev S.V., Avdeev P.P., Gribkov G.V. Problems of winter concreting and ways to solve them // Engineering Bulletin of the Don. 2022. No. 1(85).
2. Mukhametrakhimov R.Kh., Garafiev A.M., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Structure and properties of modified shungite concrete during electrode heating // Construction Materials and Products. 2023. Vol. 6, No. 6. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-6-1.
3. Кожемяка С.В., Крупенченко А.В. Выбор технологии усиления железобетонных плит перекрытия // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2021. № 6(152). С. 5-11.
Kozhemyaka S.V., Krupenchenko A.V. The choice of reinforcement technology for reinforced concrete floor slabs // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2021. No. 6(152). P. 5-11.

4. Azevedo A.S., Firmo J.P., Correia J.R. Three-dimensional finite element modelling of the fire response of passive and prestressed near-surface mounted (NSM)-CFRP-strengthened reinforced concrete slab strips // *Composite Structures*. 2024. Vol. 331. 117872. DOI: 10.1016/j.compstruct.2023.117872.
5. Петров М.И. Сравнительное исследование методов усиления железобетонных конструкций // *Молодой ученый*. 2023. № 3(450). С. 137-140. Petrov M.I. Comparative study of methods for strengthening reinforced concrete structures // *Young Scientist*. 2023. No. 3(450). P. 137-140.
6. Петряшов Н.С., Солтыс Е.П. Методы усиления сборных железобетонных конструкций промышленных зданий // *Научный аспект*. 2024. Т. 34, № 3. С. 4313-4317. Petryashov N.S., Soltys E.P. Methods of strengthening prefabricated reinforced concrete structures of industrial buildings // *Scientific Aspect*. 2024. Vol. 34, No. 3. P. 4313-4317.
7. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. Атлас схем и чертежей. Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1996. 315 с. Malganov A.I., Plevkov V.S., Polishchuk A.I. Restoration and reinforcement of building structures of emergency and reconstructed buildings. Atlas of diagrams and drawings. Tomsk: Tomsk Interdisciplinary Research Institute, 1996. 315 p.
8. Лаврова О.В., Голиков А.А., Очкин И.А. Влияние дефектов производства работ на эффективность усиления плиты монолитного ребристого перекрытия // *Моделирование и механика конструкций*. 2024. № 19. С. 123-127. Lavrova O.V., Golikov A.A., Ochkin I.A. Influence of work defects on the efficiency of strengthening a monolithic ribbed floor slab // *Modeling and Mechanics of Structures*. 2024. No. 19. P. 123-127.
9. Каталог конструктивных решений по усилению и восстановлению строительных конструкций промышленных зданий. М.: ЦНИИПромзданий, 1987. С. 91, 101. Catalog of constructive solutions for strengthening and restoring building structures of industrial buildings. Moscow: Central Research and Design-Experimental Institute of Industrial Buildings, 1987. P. 91, 101.
10. Мирсаяпов И.Т., Никитин Г.П., Ханбеков М.Ф. Усиление зон продавливания плиты перекрытия при несоосности вертикальных несущих элементов по высоте здания // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2022. № 4(62). С. 30-39. DOI: 10.52409/20731523_2022_4_30. Mirsayapov I.T., Nikitin G.P., Khanbekov M.F. Strengthening of punching zones of a floor slab with misalignment of vertical load-bearing elements along the height of the building // *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2022. No. 4(62). P. 30-39. DOI: 10.52409/20731523_2022_4_30.
11. Баулин А.В., Корнилова А.В., Ермаков В.А. Углекомпозитные материалы для усиления железобетонных конструкций при сейсмоусилении зданий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2024. № 2. С. 39-45. DOI: 10.33622/0869-7019.2024.02.39-45. Baulin A.V., Kornilova A.V., Ermakov V.A. Carbon composite materials for strengthening reinforced concrete structures during seismic strengthening of buildings // *Industrial and Civil Engineering*. 2024. No. 2. P. 39-45. DOI: 10.33622/0869-7019.2024.02.39-45.
12. Aghabagloo M., Carreras L., Barris C., Codina A., Baena M. Externally bonded reinforcement side extended (EBRSE) technique to postpone debonding of FRP laminates in strengthened concrete elements // *Case Studies in Construction Materials*. 2025. Vol. 23. e05066. DOI: 10.1016/j.cscm.2025.e05066.
13. Breveglieri M., Martinelli E., Moshiri N., Czaderski C. Evaluation of the flexural capacity of RC slabs strengthened with combined EBROG-EBR prestressed CFRP strips and an innovative composite anchorage system // *Engineering Structures*. 2025. Vol. 339. 120677. DOI: 10.1016/j.engstruct.2025.120677.

14. Рубин О.Д., Козлов Д.В., Антонов А.С., и др. Экспериментально-расчетные исследования эффективности усиления железобетонного перекрытия машинного зала ГЭС в результате применения системы внешнего армирования углеродными лентами. Часть I // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2025. Т. 17, № 4. С. 433-445. DOI: 10.15828/2075-8545-2025-17-4-433-445. Rubin O.D., Kozlov D.V., Antonov A.S., et al. Experimental and computational studies of the effectiveness of strengthening a reinforced concrete floor slab of a hydroelectric power plant machine room using an external carbon tape reinforcement system. Part I // Nanotechnologies in Construction: scientific online journal. 2025. Vol. 17, No. 4. P. 433-445. DOI: 10.15828/2075-8545-2025-17-4-433-445.
15. Петропавловских О.К., Ахметов А.А. Усиление автомобильных мостов углеволокном // Техника и технология транспорта. 2023. № 1(28). Petropavlovskikh O.K., Akhmetov A.A. Strengthening of road bridges with carbon fiber // Transport Engineering and Technology. 2023. No. 1(28).
16. Sun T., He W., Tan C., An J., Hu J., Lu L., Zhao H. Steel plate-UHPC composite strengthening method for large-span prestressed concrete box girder bridges: Simulation, optimization, and case study // Engineering Structures. 2026. Vol. 356, Part B. 122465. DOI: 10.1016/j.engstruct.2026.122465.
17. Курлапов Д.В., Ключев А.Н., Милютин Б.Г., Петров В.В. Технологические особенности усиления железобетонных элементов наращиванием сечения в сжатой зоне бетона // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10(11). С. 103-107. Kurlapov D.V., Klyuchev A.N., Milyutin B.G., Petrov V.V. Technological features of strengthening reinforced concrete elements by section extension in the compressed zone of concrete // Current Problems of Military Scientific Research. 2020. No. S10(11). P. 103-107.
18. Богатырева И.В. Результаты обследования несущих железобетонных конструкций и повышение их эксплуатационной пригодности // Modern Science. 2019. № 12-1. С.580-584. Bogatyreva I.V. Results of inspection of load-bearing reinforced concrete structures and increasing their serviceability // Modern Science. 2019. No. 12-1. P. 580-584.
19. Мазур В.А., Гришко Н.В. Анализ конструктивно-технологических решений по восстановлению железобетонных перекрытий из многопустотных плит // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2024. № 4(168). С. 77-79. Mazur V.A., Grishko N.V. Analysis of structural and technological solutions for the restoration of reinforced concrete floor slabs made of hollow-core slabs // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2024. No. 4(168). P. 77-79.

Информация об авторах

Антаков Алексей Борисович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: antakof@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8712-4134

Мухаметрахимов Рустем Ханифович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: muhametrahimov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-5289

Сафонова Любовь Сергеевна, инженер, ООО «ПКБ «Казань», г. Казань, Российская Федерация.

Email: luba_saf@mail.ru

Рахимов Равиль Зуфарович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: rahimov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-4251-1605

Хохряков Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: olvik@list.ru, ORCID: 0000-0001-5337-2850

Information about the authors

Aleksey B. Antakov, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: antakof@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8712-4134

Rustem Kh. Mukhametrakhimov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: muhametrahimov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-5289

Lyubov S. Safonova, Engineer, PKB Kazan LLC, Kazan, Russian Federation.

Email: luba_saf@mail.ru

Ravil Z. Rakhimov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: rahimov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-4251-1605

Oleg V. Khokhryakov, doctor of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: olvik@list.ru, ORCID: 0000-0001-5337-2850

Дата поступления: 13.02.2026

Дата принятия: 28.04.2026