

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.012

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.506-515

Учет дефектов и повреждений железобетонных конструкций при выполнении поверочных расчетов

Анна Николаевна Малахова

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Для определения категории технического состояния строительных конструкций и здания в целом строительные нормы предписывают выполнять оценку фактической несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций на основе поверочных расчетов, в которых должны быть учтены выявленные по результатам обследования технического состояния объекта повреждения и дефекты конструкций: изменение геометрических размеров поперечного сечения конструкций, фактические прочностные характеристики материалов железобетонных конструкций (ЖБК) и их армирование, действующие нагрузки, а также уточненные расчетные схемы, созданные с учетом обнаруженных повреждений и дефектов конструкций. Дефекты и повреждения несущих конструкций моделируются в информационной расчетной модели объекта, созданной на этапе его проектирования.

Материалы и методы. Приводятся примеры моделирования в программном комплексе ЛИРА дефектов, связанных с нарушениями технологии возведения объектов, последовательность построения плоской расчетной модели как фрагмента информационной расчетной модели объекта для начальной оценки влияния дефектов и повреждений на напряженно-деформированное состояние обследуемой конструкции.

Результаты. Представленный обзор литературы показал наличие частных методик компьютерного моделирования дефектов и повреждений ЖБК, но при этом выявил неполноту нормативных рекомендаций по компьютерному моделированию дефектов и повреждений. Подчеркивается, что для оценки обнаруженных дефектов и повреждений, отнесения конструкций с дефектами и повреждениями к категориям технического состояния, особенно к категории аварийное состояние, важным моментом является классификация этих дефектов и повреждений.

Выводы. Сделан вывод, что, хотя такая классификация имеет место в последней актуализированной версии ГОСТ 31937–2024, она также нуждается в дополнении и уточнении. На примерах продемонстрировано, что на первоначальном этапе поверочных расчетов достаточно воспользоваться небольшими плоскими моделями, результаты расчета которых следует учесть при корректировке информационной расчетной модели обследуемого объекта. Это существенно упростит подход к моделированию конструкций с дефектами и повреждениями с сохранением достаточной точности результатов оценки технического состояния конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обследование технического состояния зданий, дефекты и повреждения железобетонных конструкций, поверочные расчеты, компьютерное моделирование дефектов и повреждений, категория технического состояния

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Малахова А.Н. Учет дефектов и повреждений железобетонных конструкций при выполнении поверочных расчетов // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 4. С. 506–515. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.506-515

Автор, ответственный за переписку: Анна Николаевна Малахова, MalahovaAN@mgsu.ru, malahov@gnext.ru.

Consideration of defects and damages of reinforced concrete structures in verification calculations

Anna N. Malahova

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. To determine the category of technical condition of building structures and the building as a whole, building codes require the assessment of the actual load-bearing capacity and serviceability of structures based on verification calculations, which must take into account the damage and defects of structures identified during the inspection of the technical

condition of the object: changes in the geometric dimensions of the cross-section of structures, actual strength characteristics of reinforced concrete structure materials and their reinforcement, acting loads, as well as refined calculation schemes created taking into account the identified damage and defects of structures. Defects and damage to load-bearing structures are modelled in the information calculation model of the object created at the design stage of the object.

Materials and methods. The paper provides examples of modelling in the LIRA software of defects associated with violations of the technology of construction of objects, the sequence of construction of a flat calculation model as a fragment of the information calculation model of the object, created for the initial assessment of the influence of defects and damages on the stress-strain state of the surveyed structure.

Results. The literature review presented in the paper showed the existence of private methods of computer modelling of defects and damages of reinforced concrete structures, but at the same time revealed the incompleteness of regulatory recommendations for computer modelling of defects and damages. The paper emphasizes that for the assessment of the detected defects and damages, as well as for classifying structures with defects and damages into categories of technical condition, especially into the category of emergency condition, an important point is the availability of a classification of these defects and damages.

Conclusions. It was concluded that although such a classification exists in the latest updated version of GOST 31937–2024, it also requires significant additions and clarifications. The examples show that at the initial stage of verification calculations it is sufficient to use small flat models, the calculation results of which should be taken into account when correcting the information calculation model of the surveyed object. This will significantly simplify the approach to modelling structures with defects and damages while maintaining sufficient accuracy of the results of assessing the technical condition of structures.

KEYWORDS: inspection of the technical condition of buildings, defects and damage to reinforced concrete structures, verification calculations, computer modelling of defects and damages, technical condition category

FOR CITATION: Malahova A.N. Consideration of defects and damages of reinforced concrete structures in verification calculations. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(4):506-515. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.506-515 (rus.).

Corresponding author: Anna N. Malahova, MalahovaAN@mgsu.ru, malahov@gnext.ru.

ВВЕДЕНИЕ

При обследовании технического состояния зданий и сооружений выявляются дефекты и повреждения несущих конструктивных элементов, в частности железобетонных конструкций (ЖБК). По результатам поверочных расчетов в рамках проводимых обследований технического состояния определяется категория технического состояния как отдельных несущих элементов, так и здания или сооружения в целом по классификации ГОСТ 31937–2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»: нормативное, работоспособное, ограниченно работоспособное и аварийное состояние.

При выполнении поверочных расчетов должны быть учтены выявленные дефекты и повреждения несущих элементов конструктивной системы объекта, которые могут привести к нарушению несущей способности и эксплуатационной пригодности несущих конструкций, а также обследуемого объекта в целом.

В ГОСТ 31937–2024 (приложение Е) перечислены виды дефектов и повреждений ЖБК, указаны причины их появления, а также возможность достижения несущими конструкциями с выявленными дефектами и повреждениями ограниченно работоспособного или аварийного состояния.

Авторы статьи [1] подчеркивают необходимость включения в нормативные документы по обследованию технического состояния зданий и сооружений расширенного списка дефектов и повреждений строительных конструкций с четкой количественной оценкой их влияния на несущую способность и эксплуатационную пригодность конструкций для возможности их обоснованного отнесения к соот-

ветствующей категории технического состояния. И, прежде всего, к аварийной категории технического состояния, отнесение к которой приводит к серьезным последствиям, в том числе к сносу аварийного объекта.

Между тем статически неопределимые ЖБК способны к перераспределению усилий и, соответственно, к совместной работе различных зон конструкции как единого целого. В работе [2] представлен расчетный аппарат, позволяющий учесть совместную работу зон по длине балки с ослабленной коррозией арматурой и без коррозионных повреждений.

Предлагается [3] ввести в строительные нормы дифференцированный подход к выбору методов усиления несущих конструкций зданий и сооружений в зависимости от наличия или отсутствия дефектов и повреждений, влияющих на напряженно-деформированное состояние (НДС) усиливаемых конструкций.

В последние годы обследование технического состояния объектов строительства характеризуется широким использованием современной инструментальной базы и, соответственно, значительным объемом выявленных дефектов и повреждений [4–7]. Отмечается [5] выявление с помощью метода импеданса множественных сдвиговых и изгибных трещин, возникших в железобетонной балке при испытании на изгиб. В труде [7] указывается, что низкое качество строительных материалов является наиболее распространенным фактором, который приводит к дефектам и повреждениям строительных конструкций.

Возрастает количество обследований зданий старой постройки, конструктивные решения ко-

торых давно не используются, а здания неоднократно перестраивались. При этом выявляется значительное количество специфических дефектов и повреждений [8, 9], которые целесообразно добавить в действующие строительные нормы. Так, авторы публикации [9] отмечают, что обследования технического состояния зданий старой постройки, особенно уникальных, проводятся редко, а накопленные за время эксплуатации зданий дефекты ЖБК могут существенно влиять на их несущую способность и присвоение категории технического состояния этим несущим элементам и всему зданию в целом.

Некоторые дефекты и повреждения несущих конструкций зданий и сооружений могут иметь место на этапе возведения зданий и сооружений [10, 11]. Так, для строительных объектов в сборном железобетоне они связаны с качеством монтажа конструкций, которое регламентируется требованиями СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». В монолитных зданиях и сооружениях появление прогибов несущих элементов перекрытий, отклонение колонн и стен от вертикали может быть следствием ошибок в подборе опалубки и ее установке. Актуально [11] исследование влияния повреждений изгибаемых железобетонных элементов, полученных под действием нагружения. При этом важным моментом служит моделирование повреждений, которые оказывают воздействие на несущую способность и эксплуатационную пригодность строительных конструкций. Авторы считают, что необходима дальнейшая разработка методов исследования железобетонных элементов с типовыми повреждениями, что даст возможность точнее моделировать реальные повреждения, изучать НДС таких конструкций. Особенно это касается изучения повреждений сжатой зоны бетона, что является типовым дефектом, представляющим существенный риск для дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций, а также исследования повреждений и дефектов, полученных под воздействием нагрузок различной интенсивности.

Авторы работ [5, 12–15] показывают важность выполнения геодезических и других измерений, выполняемых в ходе мониторинга, которые позволяют оценить отклонения геометрических параметров несущих элементов зданий и сооружений, изменения их прочностных характеристик, вызванных разными причинами, в том числе технологическими ошибками, допущенными при возведении строительного объекта. Рассматривается [12–14] построение пространственно-координатной модели здания или сооружения. С помощью координатной съемки определенных точек и узлов фиксируется пространственное расположение конструктивных элементов обследуемого здания. При этом для расчетной модели проверяются и при необходимости корректируются координаты точек и узлов соот-

ветствующих элементов расчетной модели. Хотя построение пространственно-координатной модели имеет место в основном при мониторинге уникальных зданий, геодезические измерения для оценки отклонения геометрических параметров несущих элементов зданий и сооружений от проектного положения в настоящее время все чаще включают в программу обследования технического состояния объектов массового строительства.

Для предотвращения технологических дефектов, которые могут появиться в построечный период, требуется проведение прочностных и деформационных расчетов на стадии возведения монолитных конструкций. Осуществлен подбор профилированного настила [16] исходя из ограничения допустимых прогибов, фиксируемых при возведении и эксплуатации сталежелезобетонных плит перекрытия здания.

Представлены результаты использования метода на основе импеданса для обнаружения дефектов и повреждений ЖБК в ходе мониторинга их технического состояния [5]. Утверждается, что результаты аналитических расчетов подтвердили обоснованность экспериментальных результатов, предоставив ценный инструмент для исследования практического применения метода импеданса. В публикации [15] показана важность проведения строительного контроля застройщика, в том числе лабораторного контроля строительных материалов и конструкций, для обеспечения качественных эксплуатационных характеристик всего объекта.

Авторы многих научных статей [17–20] сходятся во мнении, что только стремление к более полному выявлению дефектов и повреждений несущих конструкций зданий и сооружений, их учет при выполнении поверочных расчетов позволят правильно определять категорию технического состояния строительных конструкций и строительного объекта в целом по результатам обследования технического состояния, хотя учет большого количества дефектов и повреждений увеличивает трудоемкость расчетов, требует подбора средств программных комплексов (ПК) для описания дефектов и повреждений в расчетной модели объекта. Приводятся результаты исследования повреждений ЖБК, работающих в агрессивной среде, опыт разработки специальных технических регламентов, определяющих условия и порядок проведения исследований и диагностики ЖБК [20].

Следует отметить, что сегодня не сложились общие подходы к моделированию дефектов в расчетной модели объекта и практически отсутствуют общепринятые методики компьютерного учета дефектов и повреждений. Сложность заключается в том, что применяемые в настоящее время для строительного проектирования ПК имеют разный набор средств для описания дефектов и повреждений в расчетной модели объекта.

Указанное выше вызывает определенные затруднения при оценке влияния выявленных дефектов и повреждений на несущую способность и эксплуатационную пригодность конструкций, при уточнении расчетных схем с учетом дефектов и повреждений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматриваются возможности ПК ЛИРА [21] для корректировки информационной расчетной модели объекта с учетом выявленных в результате его обследования дефектов и повреждений. По требованию нормативных документов, в частности СП 430.1325800 «Монолитные конструктивные системы», СП 355.1325800 «Крупнопанельные конструктивные системы», расчет конструктивных систем здания следует осуществлять путем построения пространственных расчетных моделей объекта совместно с основанием и расчеты вести в нелинейной постановке.

Внесение изменений прочностных и деформационных характеристик материалов, корректировка размеров поперечного сечения несущих конструкций, толщины защитного слоя бетона, расположения арматурных стержней, параметров армирования выполняется в диалоговых окнах команды *жесткости и материалы* и в программном модуле *локальное армирование* ПК ЛИРА.

Для расчетных задач в нелинейной постановке (команда *жесткости и материалы*) при наличии ослабленных зон бетона требуется замена для этих зон закона деформирования бетона, который первоначально назначается по проектному классу бетона, закона деформирования материала обследуемых зон, в том числе бетона с трещинами и повреждениями. Изменение содержания рабочей арматуры может быть произведено в диалоговом окне *арматурные включения*. В статье [22] приведено описание расчета монолитной плиты перекрытия в нелинейной постановке.

Коррозионные повреждения довольно сложно учесть при корректировке расчетных схем, так как балки и колонны моделируются стержнями, а стены и плиты — пластинами.

Для компьютерного моделирования эксперимента, например с железобетонной балкой, ее пространственная расчетная схема строится из объемных конечных элементов (КЭ), арматура моделируется стержнями, которые могут быть с коррозионными повреждениями как по периметру, так и по их длине с нарушением сцепления арматуры с бетоном. При этом для различных зон бетона балки задаются разные законы деформирования материала, доступен также учет ортотропии.

По ГОСТ 31937–2024 (приложение Е) внешними признаками коррозии арматуры являются трещины вдоль арматурных стержней и отслоение защитного слоя бетона. При расположении коррози-

онных дефектов на опорных участках конструкции ее техническое состояние должно быть отнесено к аварийному.

Частные методики по оценке влияния коррозионных повреждений на несущую способность и эксплуатационную пригодность балки или колонны, созданию расчетных моделей поврежденных конструкций в ПК ЛИРА и ANSYS приведены в публикациях [23, 24]. Общепринятые методики отсутствуют.

Следует отметить, что в ПК ANSYS и ABAQUS предусмотрены КЭ, позволяющие выключать из работы зоны тех конструктивных элементов, где растягивающие усилия превышают прочность бетона на растяжение [13, 25].

В ПК ЛИРА о появлении трещин, например в плите перекрытия, также можно судить по превышению возникающих напряжений над прочностью бетона при растяжении. Система ЛИТЕРА ПК ЛИРА (*расширенный анализ* ⇒ *расчет ЛИТЕРА*) дает возможность по графическому представлению направления главных напряжений и величине этих напряжений судить о расположении линий излома конструкции и о развитии трещин по линиям излома.

Трещины, возникающие в конструкции по линиям излома, — это трещины разрушения. Они отличаются от волосяных трещин, не имеющих четкой ориентации и прогнозируемого расположения, которые служат следствием проявления усадочных деформаций и не влияют на несущую способность конструкций [26, 27].

Кроме расчета в системе ЛИТЕРА в ПК ЛИРА предусмотрен расчет трещин (*расширенный анализ* ⇒ *расчет трещин*), который позволяет для задач в нелинейной постановке количественно определять параметры трещин (глубину, ширину и расстояние между трещинами) и наблюдать анимацию развития трещин для заданных ступеней приложения нагрузки, и, если это предусмотрено заданием нагружения, то вплоть до разрушения конструкции. В статье [27] приведено описание компьютерного расчета трещин в монолитной плите перекрытия в ПК ЛИРА.

Возведение монолитных зданий и сооружений требует устройства технологических швов бетонирования, в которых при проведении обследования технического состояния конструкций могут выявляться дефекты и повреждения. В исследованиях последних лет уделяется внимание вопросам обследования технического состояния технологических швов бетонирования, их моделирования при корректировке расчетной схемы зданий и сооружений, оценке влияния швов бетонирования на НДС конструкций.

Рассматриваются особенности моделирования технологических швов бетонирования в расчетной схеме зданий по результатам обследования технического состояния конструктивных элементов с учетом фактических мест расположения техноло-

гических швов бетонирования, а также ослабление прочностных и деформационных свойств бетона в зонах швов бетонирования [28, 29].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье приведены приемы и последовательность моделирования в ПК ЛИРА дефектов, связанных с нарушениями технологии возведения плоского перекрытия монолитного здания стеновой конструктивной системы и стены монолитного прямоугольного заглубленного резервуара, предназначенного для аккумуляции и очистки воды сети ливневого водоотведения, с оценкой влияния выявленных дефектов на прочностные и эксплуатационные характеристики обследуемых конструкций и установлением категории их технического состояния.

При выполнении поверочных расчетов в рамках обследования технического состояния объектов перед корректировкой информационной расчетной модели, созданной на этапе проектирования, рекомендуется сначала рассмотреть влияние выявленных дефектов на плоской расчетной модели. На такой модели можно отработать методику и средства моделирования конкретных дефектов и повреждений и оценить их влияние на НДС сначала на фрагменте конструкции. При выделении плоской модели из пространственной модели объекта необходимо обоснованно закреплять опорные узлы плоской расчетной модели.

В статье рассматриваются примеры моделирования и расчета плоских фрагментов информационной расчетной модели объекта.

Прогиб плиты плоского монолитного перекрытия, жестко сопряженной со стенами по трем

сторонам, вызванный нарушениями технологии ее возведения, имел место в пределах одной ячейки с максимальным значением прогиба 6 см у свободного края плиты. Проведение геодезической съемки в рамках обследования технического состояния объекта было ориентировано на разбивочную сетку плиты в информационной расчетной схеме, созданной на этапе проектирования здания.

Корректировка плоской расчетной схемы ячейки плиты заключается в придании перекрытию установленного дополнительного прогиба, для чего необходимо скорректировать геометрию пластинчатого элемента, опустив узлы по вертикали (команда *перемещение*).

Смещение узлов разбивочной сетки по вертикали в общем случае выполняется для треугольных пластинчатых элементов, поэтому при необходимости требуется корректировка расчетной схемы с использованием команды *преобразование пластинчатых КЭ* (рис. 1, *a*). То есть в корректируемой зоне плиты 4-узловые конечные элементы должны быть заменены на 3-узловые КЭ.

На рис. 1, *b* показана плита перекрытия после моделирования в ее расчетной схеме предварительного технологического прогиба, а также изополя напряжений и изополя прогибов и напряжений, полученные в результате статического расчета при проектном нагружении с учетом наличия значительного начального прогиба. Величина прогиба и возникающие напряжения для плиты с дополнительным начальным прогибом и без него при проектном нагружении практически одинаковы, но суммарное значение прогиба плиты с начальным прогибом технологического характера превышает предельно допустимые значения.

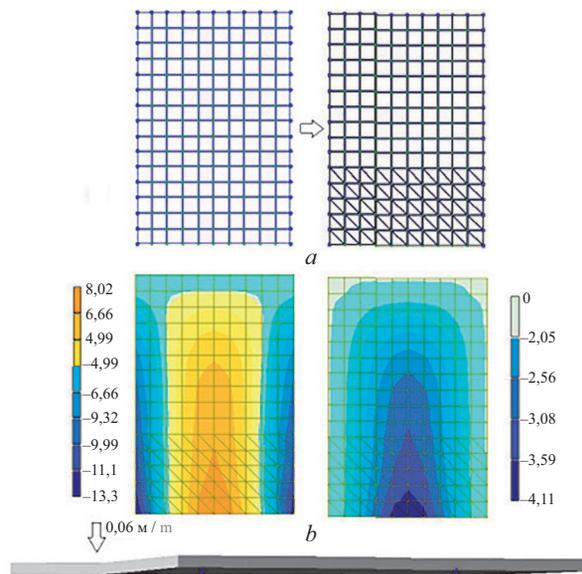


Рис. 1. Плоская плита перекрытия 5×7,5 м после корректировки геометрии (*a*) и изополя напряжений – изгибающих моментов по M_x в кНм/м и прогибов в мм (*b*), полученные в результате статического расчета

Fig. 1. Flat floor slab 5×7.5 m after geometry correction (*a*) and stress isofield – bending moments according to M_x in kNm/m and deflections in mm (*b*), obtained as a result of static calculation

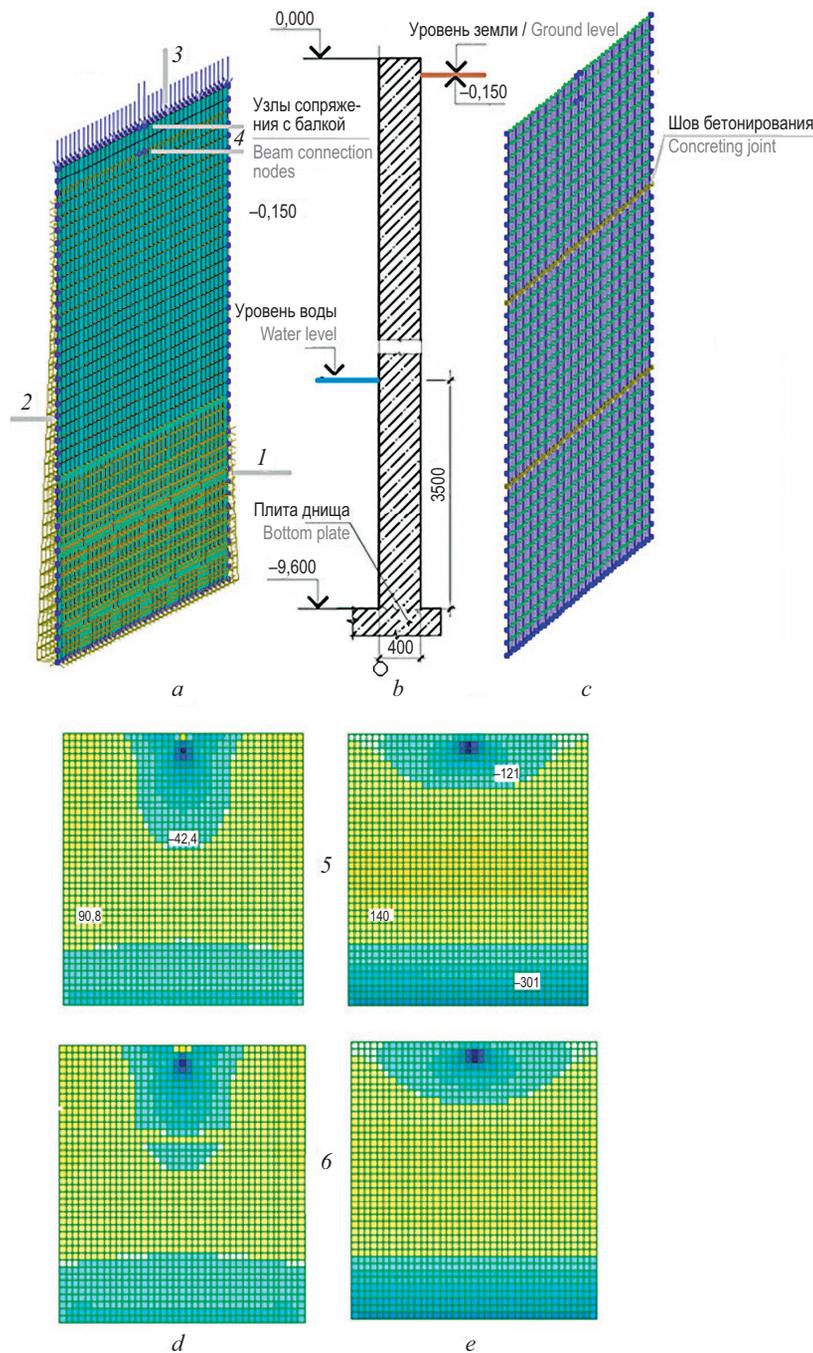


Рис. 2. Расчет фрагмента продольной стены резервуара: *a* — плоская расчетная схема фрагмента; *1* — гидростатическая нагрузка; *2* — боковое давление грунта; *3* — нагрузка от веса покрытия и снега; *4* — узлы примыкания балки покрытия к стене; *b* — общий вид стены в разрезе; *c* — моделирование технологических швов бетонирования (ослабленная зона высотой 500 мм); *d, e* — изополя напряжений, соответственно, по M_y и M_x ; *5* — распределение напряжений при отсутствии швов бетонирования; *6* — распределение напряжений при наличии швов бетонирования

Fig. 2. Calculation of a fragment of the longitudinal wall of the reservoir: *a* — a flat calculation scheme of the fragment; *1* — hydrostatic load; *2* — lateral soil pressure; *3* — load from the weight of the roof and snow; *4* — nodes of the junction of the roof beam to the wall; *b* — general view of the wall in section; *c* — modelling of technological concreting joints (weakened zone 500 mm high); *d, e* — stress isofields, respectively, along M_y and along M_x ; *5* — stress distribution in the absence of concreting joints; *6* — stress distribution in the presence of concreting joints

В этом случае для определения категории технического состояния можно воспользоваться рекомендациями ГОСТ 31937–2024 (приложение Е), по которым степень опасности чрезмерного прогиба определяется в зависимости от наличия других

дефектов, прежде всего трещин по линиям излома с недопустимой шириной раскрытия, что в обследуемой плите не наблюдается.

Второй пример нарушения технологии возведения объекта относится к выполнению горизонталь-

ных швов бетонирования в стенах прямоугольного заглубленного резервуара. Монолитный резервуар имеет размеры в плане $34,3 \times 20,9$ м и высоту 9,6 м. По высоте в стенах резервуара предусмотрено два шва бетонирования.

Поверочные расчеты пространственной модели резервуара без учета швов бетонирования показали достаточную несущую способность стен резервуара. При этом максимальные изгибающие моменты имели место в продольных наружных стенах резервуара.

Начальная оценка влияния швов бетонирования на НДС стен резервуара может быть выполнена на фрагменте продольной (длинной) стены резервуара. Плоская расчетная схема фрагмента стены представлена на рис. 2, а. Для этой расчетной схемы применимы две плоскости прямой симметрии YOZ . На боковые узлы фрагмента, лежащие в плоскости симметрии, накладываются связи X , UY , UZ . Нижние узлы расчетной схемы и узлы сопряжения полок двутавровой балки покрытия резервуара со стеной имеют жесткое закрепление.

Нагружение расчетной схемы фрагмента стены резервуара включает давление грунта, гидростатическое давление (уровни грунта и воды показаны на рис. 2, б), а также нагружение, передаваемое от покрытия резервуара на стену.

На рис. 2, с приводится расположение швов бетонирования. В работе [30] показано, что при укладке свежей бетонной смеси на затвердевший бетон предыдущего участка бетонирования в любом случае образуется зона с пониженными прочностными характеристиками. Определение прочности бетона в зоне расположения стыков подтверждает эти утверждения [31]. При этом эксплуатационная пригодность стен резервуара с учетом ширины раскрытия трещин будет связана с фильтрацией воды, которая усиливается при наличии дефектных швов бетонирования. Для учета снижения прочности бетона в зоне расположения швов бетонирования в плоской расчетной модели были уменьшены прочностные характеристики материала в зоне стыка высотой 500 мм.

На рис. 2, д, е показаны результаты расчета фрагмента стены со швами и без швов бетонирования. В обоих расчетах несущая способность стены была обеспечена.

Анализ результатов расчетов плоских моделей с дефектами и повреждениями следует учитывать при корректировке информационных расчетных моделей объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При обследовании технического состояния железобетонных зданий и сооружений с привлечением организаций, имеющих развитую приборную базу, выявляется значительное количество дефектов и повреждений, которые необходимо учесть при выполнении поверочных расчетов. Приведенный обзор литературы показывает наличие частных методик компьютерного моделирования дефектов и повреждений железобетонных конструкций, но при этом отсутствуют нормативные рекомендации по компьютерному моделированию дефектов и повреждений.

Важным моментом в оценке выявленных дефектов и повреждений является их классификация по отнесению конструкций с дефектами и повреждениями к категориям технического состояния, особенно к категории аварийное состояние. Такая классификация дефектов и повреждений имеет место в последней актуализированной редакции ГОСТ 31937–2024, но она также нуждается в дополнении и уточнении.

В статье на примерах предлагается до проведения поверочного расчета и корректировки пространственной информационной расчетной модели объекта построить плоский фрагмент расчетной модели и на нем, осуществив подбор и применение средств моделирования дефектов и повреждений, оценить их влияние на НДС несущих элементов зданий и сооружений. Анализ результатов расчета плоской модели необходимо учесть при корректировке информационной расчетной модели объекта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Липидус А.А., Топчий Д.В., Юргайтис А.Ю., Климина В.В. Формирование унифицированной классификации дефектов при строительстве промышленных объектов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 11–1. С. 37–42. DOI: 10.17513/snt.38335. EDN MCLADW.
2. Тамразян А.Г. Перераспределения усилий в статически неопределимых корродированных железобетонных балках // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 8. № 4. С. 5–13. DOI: 10.22227/2949-1622.2024.4.5-13. EDN BGHEDF.

3. Бенин Д.М., Снежко В.Л., Маркова Е.С. Анализ напряженно-деформированного состояния усиливаемых железобетонных конструкций // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 28. С. 895–902. EDN JJDQOS.
4. Кутнякова В.В., Морозова Н.Е., Весовая К.Ю., Воробьева М.А. Определение технического состояния строительных конструкций для реконструкции здания поликлиники // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 5. С. 53. EDN ITQADL.
5. Park S., Ahmad S., Yun C.B., Roh Y. Multiple crack detection of concrete structures using impedance-

based structural health monitoring techniques // *Experimental Mechanics*. 2006. Vol. 46. Issue 5. Pp. 609–618. DOI: 10.1007/s11340-006-8734-0

6. *Panasyuk V.V., Marukha V.I., Sylovanyuk V.P.* Predominant Damages and Injuries in Reinforced Concrete Structures Arising During Use // *Injection Technologies for the Repair of Damaged Concrete Structures*. 2014. Pp. 35–65. DOI: 10.1007/978-94-007-7908-2_3

7. *Ahzahar N., Karim N.A., Hassan S.H., Eman J.* A Study of Contribution Factors to Building Failures and Defects in Construction Industry // *Procedia Engineering*. 2011. Vol. 20. Pp. 249–255. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.162

8. *Полищук А.И., Петухов А.А., Таюкин Г.И.* Реконструкция здания генетической клиники НИИ медицинской генетики Томского научного центра СО РАМН // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2015. № 1. С. 166–184. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.12. EDN TYFVMN.

9. *Okolnikova G.E., Ershov M.E., Malafeev A.S.* The effect of defects and damages in reinforced concrete load-bearing structures on further operating conditions // *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. 2024. Vol. 19. Issue 7. DOI: 10.26782/jmcms.2024.07.00001

10. *Пешина И.В., Пешнин А.Н., Гаврилова Е.О.* Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонного сборного каркаса с дефектами и повреждениями // *Символ науки: международный научный журнал*. 2021. № 2. С. 17–23. EDN PXGGLR.

11. *Lobodanov M., Vegera P., Blikharsky Z.* Influence analysis of the main types of defects and damages on bearing capacity in reinforced concrete elements and their research methods // *Production Engineering Archives*. 2019. Vol. 22. Issue 22. Pp. 24–29. DOI: 10.30657/pea.2019.22.05

12. *Коргин А.В., Ранов И.И., Коргина М.А., Поляков Д.А.* Мониторинг изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений на основе МКЭ-анализа пространственно-координатных моделей // *Вестник МГСУ*. 2007. № 4. С. 83–87. EDN MVHAER.

13. *Ермаков В.А., Коргин А.В.* Методика МКЭ-оценки несущей способности конструкций с учетом наличия дефектов // *Вестник МГСУ*. 2009. № 1. С. 26–28.

14. *Коргин А.В., Ермаков В.А.* Автоматизация формирования и коррекции расчетных моделей при мониторинге технического состояния зданий и сооружений // *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. 2012. № 3 (23). С. 35. EDN PWPJLR.

15. *Lapidus A.A., Makarov A.N.* Risk-Based Approach for the organization of construction supervision of the developer // *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 2559. P. 060003. DOI: 10.1063/5.0099138

16. *Шапошникова Ю.А.* Влияние различных факторов на прогибы и прочность профилированного настила в стадии бетонирования сталежелезобетонной плиты // *Железобетонные конструкции*. 2024. Т. 7. № 3. С. 44–53. DOI: 10.22227/2949-1622.2024.3.44-53. EDN DADHLD.

17. *Сергеева А.Ю., Мясущев Р.Ю., Сергеев Ю.Д.* Выявление причин образования дефектов в строительных конструкциях // *Актуальные проблемы строительства, природообустройства, кадастра и землепользования* : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. 2022. С. 59–63. EDN WCIAUY.

18. *Зарембо Р.А., Зарембо И.А.* Влияние характерных повреждений и дефектов на долговечность железобетонных и бетонных строительных конструкций // *Научные исследования в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития* : сб. науч. ст. по мат. III Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 270–277. EDN XYMZRQ.

19. *Гусев Н.Н., Кучеренко А.О.* Учет сформированного напряженно-деформированного состояния несущих конструкций при проведении поверочных расчетов их несущей способности // *Современные направления в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений* : сб. науч. тр. 2019. С. 6–14. EDN PPTKGY.

20. *Pepeñar I.* Damage evaluation of reinforced concrete structures in aggressive environments // *7th International Symposium on Nondestructive Testing in Civil Engineering*. 2009. Vol. 14 (7).

21. *Городецкий А.С., Евзеров И.Д.* Компьютерные модели конструкций. М. : Издательство АСВ, 2009. 360 с.

22. *Малахова А.Н.* Расчет плоских плит перекрытий монолитного каркасного здания с учетом нелинейной работы материалов // *Системные технологии*. 2022. № 2 (43). С. 41–47. DOI: 10.55287/22275398_2022_2_41. EDN BUUJYO.

23. *Смоляго Г.А., Фролов Н.В.* Моделирование коррозионно-поврежденных железобетонных балок в ПК ЛИРА-САПР // *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения* : мат. Междунар. академических чтений. 2020. С. 266–271. EDN ZZNVDM.

24. *Тамразян А.Г., Алексейцев А.В., Попов Д.С., Курченко Н.С.* Несущая способность коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов при поперечном нагружении // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 9. С. 5–11. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.09.05-11. EDN BMPSSJ.

25. *Коргин А.В., Зейд К.Л.З., Ермаков А.А.* Учет трещиноподобных дефектов при мониторинге строительных конструкций // *Вестник МГСУ*. 2013. № 12. С. 77–83.

26. *Малахова А.Н.* Особенности работы монолитного балочного перекрытия под нагрузкой // *Вестник МГСУ*. 2013. № 11. С. 50–57. EDN ROWKDD.

27. Malakhova A. Estimation of cracking of reinforced concrete load-bearing construction structures at the stage of their technical inspection // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 02040. DOI: 10.1051/mateconf/201825102040

28. Коянкин А.А., Белецкая В.И., Гужевская А.И. Влияние шва бетонирования на работу конструкции // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 76–81. EDN RYXTND.

29. Дейнеко А.В., Курочкина В.А., Яковлева И.Ю., Старостин А.Н. Проектирование железобетонных перекрытий с учетом рабочих швов бето-

нирования // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 9 (132). С. 1106–1120. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1106-1120. EDN AOFARH.

30. Писарев С.В., Астахов Н.Н. Оценка технического состояния конструкций зданий при типовых нарушениях технологии строительства // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2014. № 12. С. 142–148. EDN SGYHOZ.

31. Малахова А.Н. Возможные комплексные причины появления трещин в стенах подземного резервуара // Строительство и реконструкция. 2018. № 1 (75). С. 67–71. EDN XNZASL.

Поступила в редакцию 12 ноября 2024 г.

Принята в доработанном виде 30 декабря 2024 г.

Одобрена для публикации 21 февраля 2025 г.

ОБ АВТОРЕ: **Анна Николаевна Малахова** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0003-0203-0193; MalahovaAN@mgsu.ru, malahov@gnext.ru.

REFERENCES

1. Lapidus A.A., Topchiy D.V., Yurgaitis A.Y., Klimina V.V. Formation of a unified classification of defects in the construction of industrial objects. *Modern High Technologies*. 2020; 11-1:37-42. DOI: 10.17513/snt.38335. EDN MCLADW. (rus.).

2. Tamrazyan A.G. Stress Redistribution in Statically Indeterminate Corroded Reinforced Concrete Beams. *Reinforced Concrete Structures*. 2024; 8(4):5-13. DOI: 10.22227/2949-1622.2024.4.5-13. EDN BGHEDF. (rus.).

3. Benin D.M., Snezhko V.L., Markova E.S. Analysis of the stress-strain state of reinforced concrete structures. *Innovations. The science. Education*. 2021; 28:895-902. EDN JJDQOS. (rus.).

4. Kutniakova V.V., Morozova N.E., Vesovaya K.Yu., Vorobeva M.A. Determination of the technical condition of building structures for the reconstruction of the polyclinic building. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019; 11(5):53. EDN ITQADL. (rus.).

5. Park S., Ahmad S., Yun C.B., Roh Y. Multiple crack detection of concrete structures using impedance-based structural health monitoring techniques. *Experimental Mechanics*. 2006; 46(5):609-618. DOI: 10.1007/s11340-006-8734-0

6. Panasyuk V.V., Marukha V.I., Sylovanyuk V.P. Predominant Damages and Injuries in Reinforced Concrete Structures Arising During Use. *Injection Technologies for the Repair of Damaged Concrete Structures*. 2014; 35-65. DOI: 10.1007/978-94-007-7908-2_3

7. Ahzahar N., Karim N.A., Hassan S.H., Eman J. A Study of Contribution Factors to Building Failures and Defects in Construction Industry. *Procedia Engineering*. 2011; 20:249-255. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.162

8. Polishchuk A.I., Petukhov A.A., Taiukin G.I. Reconstruction the genetics clinic building of sri of medical genetics of Tomsk scientific center of rams Siberian branch. *Construction and Geotechnics*. 2015; 1:166-184. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.12. EDN TYFVMN. (rus.).

9. Okolnikova G.E., Ershov M.E., Malafeev A.S. The effect of defects and damages in reinforced concrete load-bearing structures on further operating conditions. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. 2024; 19(7). DOI: 10.26782/jm-cms.2024.07.00001

10. Peshnina I.V., Peshnin A.N., Gavrilova E.O. Study of the stress-strain state of a reinforced concrete prefabricated frame with defects and damage. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2021; 2:17-23. EDN PXGGLR. (rus.).

11. Lobodanov M., Vegera P., Blikharsky Z. Influence analysis of the main types of defects and damages on bearing capacity in reinforced concrete elements and their research methods. *Production Engineering Archives*. 2019; 22(22):24-29. DOI: 10.30657/pea.2019.22.05

12. Korgin A.V., Ranov I.I., Korgina M.A., Polyakov D.A. Monitoring changes in the stress-strain state of building structures of buildings and structures based on FEM analysis of spatial coordinate models. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2007; 4:83-87. EDN MVHAEP. (rus.).

13. Ermakov V.A., Korgin A.V. Methodology for FEM assessment of the load-bearing capacity of structures taking into account the presence of defects. *Vest-*

- nik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2009; 1:26-28. (rus.).
14. Korgin A.V., Ermakov V.A. Automating creation and update of computing models when monitoring technical condition of buildings and constructions. *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2012; 3(23):35. EDN PWPJLR. (rus.).
15. Lapidus A.A., Makarov A.N. Risk-Based Approach for the organization of construction supervision of the developer. *AIP Conference Proceedings*. 2022; 2559:060003. DOI: 10.1063/5.0099138
16. Shaposhnikova Yu.A. The influence of various factors on the deflections and strength of profiled sheeting at the stage of concreting a steel-reinforced concrete slab. *Reinforced Concrete Structures*. 2024; 7(3):44-53. DOI: 10.22227/2949-1622.2024.3.44-53. EDN DADHLD. (rus.).
17. Sergeeva A.Yu., Myasishchev R.Yu., Sergeev Yu.D. Identification of the causes of defects in building structures. *Current problems of construction, environmental management, cadastre and land use : collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference*. 2022; 59-63. EDN WCIAYU. (rus.).
18. Zarembo R.A., Zarembo I.A. The influence of characteristic damage and defects on the durability of reinforced concrete and concrete building structures. *Scientific research in the modern world: experience, problems and development prospects : collection of scientific articles based on materials from the III International Scientific and Practical Conference*. 2020; 270-277. EDN XYMZQR. (rus.).
19. Gusev N.N., Kucherenko A.O. Given that the stress-strain state of bearing constructions at carrying out of testing calculations of their carrying capacity. *Modern trends in the construction and operation of buildings and structures : collection of scientific papers*. 2019; 6-14. EDN PPTKGY. (rus.).
20. Pepenar I. Damage evaluation of reinforced concrete structures in aggressive environments. *7th International Symposium on Nondestructive Testing in Civil Engineering*. 2009; 14(7).
21. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. *Computer models of structures*. Moscow, ASV Publishing House, 2009; 360. (rus.).
22. Malakhova A.N. Calculation of flat floor slabs of a monolithic frame building taking into account the non-linear operation of materials. *System Technologies*. 2022; 2(43):41-47. DOI: 10.55287/22275398_2022_2_41. EDN BUUJYO. (rus.).
23. Smolyago G.A., Frolov N.V. Modeling of corrosion-damaged reinforced concrete beams in LIRA-SAPR. *Safety of the Russian building stock. Problems and solutions: materials of International Academic Readings*. 2020; 266-271. EDN ZZNVD. (rus.).
24. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V., Popov D.S., Kurchenko N.S. Load-bearing capacity of corrosion-damaged compressed reinforced concrete elements under transverse loading. *Industrial and Civil Engineering*. 2023; 9:5-11. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.09.05-11. EDN BMPSSJ. (rus.).
25. Korgin A.V., Zeyd Kilani L.Z., Ermakov V.A. Heath Monitoring of Building Constructions with Crack-like Defects. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2013; 12:77-83. (rus.).
26. Malakhova A.N. Features of monolithic beam floor operation under load. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2013; 11:50-57. EDN ROWKDD. (rus.).
27. Malakhova A. Estimation of cracking of reinforced concrete load-bearing construction structures at the stage of their technical inspection. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:02040. DOI: 10.1051/matec-conf/201825102040
28. Koyankin A.A., Beletskaya V.I., Guzhevskaya A.I. The influence of concrete joints on the structural behavior. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2014; 3:76-81. EDN RYXTND. (rus.).
29. Deineko A.V., Kurochkina V.A., Yakovleva I.Yu., Starostin A.N. Design of reinforced concrete slabs subject to the construction joints. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2019; 14(9):(132):1106-1120. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1106-1120. EDN AOFARH. (rus.).
30. Pisarev S.V., Astakhov N.N. Assessment of the technical condition of building structures with typical violations of construction technology. *Priority Scientific Directions: From Theory to Practice*. 2014; 12:142-148. EDN SGYHOZ. (rus.).
31. Malakhova A.N. Possible complex causes of the appearance of cracks in the walls of an underground reservoir. *Building and Reconstruction*. 2018; 1(75):67-71. EDN XNZASL. (rus.).

Поступила в редакцию 12 ноября 2024 г.

Принята в доработанном виде 30 декабря 2024 г.

Одобрена для публикации 21 февраля 2025 г.

B I O N O T E S : **Anna N. Malahova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0203-0193; MalahovaAN@mgsu.ru, malahov@ngnext.ru.