

Научная статья

УДК 69.07

DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.1.47>

EDN: HMOUEX

Оценка напряженно-деформированного состояния конструкций здания натурными испытаниями в период эксплуатации

В. И. Римшин^{1,2}, П. С. Трунгов¹, В. В. Кислова¹, Е. В. Кислова¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (г. Москва)

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (г. Москва)

v.rimshin@niisf.ru

Аннотация. *Введение.* При проведении технического обследования зданий методика проведения поверочного расчета конструкций, позволяющая смоделировать расчетную схему и проанализировать напряженно-деформированное состояние с целью определения опасных участков и возможности образования силовых трещин, используется давно и доказала свою эффективность. Однако иногда поверочного расчета может быть недостаточно. В статье приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния путем проведения натурного испытания статическим нагружением плиты перекрытия реконструируемого здания с учетом трещин. Испытание проведено в условиях действующего строительства. В настоящее время нормативных документов, регламентирующих проведение натурных испытаний железобетона в эксплуатационном периоде, нет. Но имеются такие нормы для испытания сборных железобетонных изделий в заводских условиях и на испытательных стендах в лабораториях. Для проведения подобных испытаний эксплуатируемых конструкций в каждом конкретном случае необходимо разрабатывать программу работ, являющуюся своего рода исследованием для обоснования корректности и правдоподобности результатов испытания.

Цель исследования – определить напряженно-деформированное состояние плиты перекрытия с учетом трещин, выявленных в ходе технического обследования, путем натурных испытаний статическим нагружением, а также оценить эффективность применения данной методики.

Методы. Настоящее исследование содержит методику и основания для проведения натурного испытания плиты перекрытия. Описаны программа работ, применяемые измерительные приборы и оборудование. Проведен поверочный расчет плиты для получения прогнозируемых результатов испытания. Показаны схема нагружения и материалы, используемые для создания фактической контрольной нагрузки на участке испытания.

Результаты испытания. Приведены качественные и количественные показатели изменения напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия в процессе статического нагружения. Сделан вывод о техническом состоянии конструкции в соответствии с действующими нормами. Полученные результаты позволили сделать вывод об эффективности применения описанной методики.

Заключение. Обоснован вывод об эффективности применения методики проведения натурных испытаний строительных конструкций с целью определения напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; трещиностойкость; жесткость; натурные испытания; статическое нагружение; прогиб; ширина раскрытия трещин; прогибомер.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Оценка напряженно-деформированного состояния конструкций здания натурными испытаниями в период эксплуатации / В. И. Римшин, П. С. Трунгов, В. В. Кислова, Е. В. Кислова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2024. № 1 (29). С. 47–57. DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.1.47>; EDN: HMOUEX

Введение

Техническое обследование – неотъемлемая часть жизненного цикла зданий и сооружений, проводится как во время строительства, так и в период эксплуатации здания. Основная цель проведения обследования – определение текущего технического состояния строительных конструкций и здания в целом, что, в свою очередь, позволяет сделать вывод о возможности или невозможности его дальнейшей нормальной эксплуатации.

Самым явным и часто встречающимся дефектом при визуальном обследовании железобетонных конструкций являются трещины. Причины появления и развития трещин в железобетоне носят различный характер. Наиболее распространенными из них являются температурно-усадочные деформации при остывании и затвердевании бетона, технологические ошибки, допущенные при бетонировании конструкции, деформации опор, неравномерные осадки фундаментов и грунта основания. Однако самыми опасными являются силовые трещины, вызванные истощением несущей способности по прочности, жесткости и трещиностойкости. Поэтому при обнаружении трещин перед инженерами-обследователями всегда встает трудная задача – определить истинную причину их появления, чтобы принять решение о необходимости усиления или выдаче заключения о работоспособности конструкции.

Зачастую регламентированными в нормативной документации методами невозможно исключить силовой характер образования трещин. Результаты выполненного поверочного расчета лишь с некоторой долей вероятности можно принять достоверными. На заводах-изготовителях сборных железобетонных изделий проводят экспериментальные натурные испытания конструкций статическим и динамическим нагружением по разработанной методике, представленной в государственном стандарте.

Но такой методики, официально регламентированной стандартом, для уже возведенных и эксплуатируемых конструкций нет.

В данном исследовании приведено описание применения натурного испытания статическим нагружением монолитной плиты перекрытия реконструируемого здания в период строительства. За основу принята методика, изложенная в ГОСТ 8829-2018.

Цель исследования – определить напряженно-деформированное состояние плиты перекрытия с учетом трещин, выявленных в ходе технического обследования, путем натурных испытаний статическим нагружением и оценить эффективность применения данной методики.

Основание для проведения испытания

Исследование проведено в построечных условиях для монолитной железобетонной плиты перекрытия подземной автопарковки на реконструируемом объекте. Конструктивная схема – каркасно-стенная, где вертикальными несущими конструкциями являются монолитные стены толщиной 250 мм и колонны сечением 500×500 и 500×800 мм. Плита перекрытия – плоская с капителями колонн, толщиной 300 мм.

В ходе проведения технического обследования выявлены многочисленные трещины по нижней грани плиты перекрытия с шириной раскрытия от 0,05 до 0,3 мм. Поверочный расчет, выполненный с помощью программного обеспечения, реализующего метод конечных элементов, показал, что несущей способности плиты достаточно для восприятия деформаций и усилий. Однако (в силу важности и уникальности строящегося объекта) было принято решение о проведении статических испытаний плиты перекрытия вертикальной нагрузкой.

Методика испытания

Перед началом испытания составлена программа работ, в которой излагается

методика и приводится обоснование этапов проведения исследования.

Для сопоставления экспериментальных результатов с теоретическими выполнен расчет плиты с учетом физической нелинейности на действие постоянных и кратковременных проектных нагрузок. По результатам расчета, максимальный прогиб от нормативной нагрузки (без учета собственного веса плиты) на участке испытания составляет 0,69 мм (допустимый – 45 мм). Максимальная ширина рас-

крытия трещин по верхней грани плиты (на опорных участках) составляет 0,152 мм (0,4 мм – максимально допустимая ширина раскрытия при кратковременном действии нагрузок). При этом, по данным расчета, силовые трещины в растянутой зоне в пролете возникать не должны.

На рисунках 1-2 представлены результаты расчета плиты по трещинообразованию. Для выбранного участка выявлена контрольная нагрузка, равная 8 кН/м².

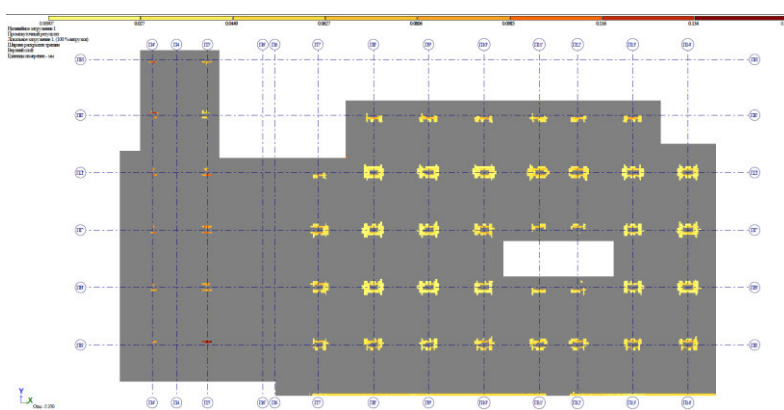


Рис. 1. Мозаика ширины раскрытия трещин в верхнем слое плиты

Fig. 1. Mosaic of the crack opening width in the upper layer of the plate

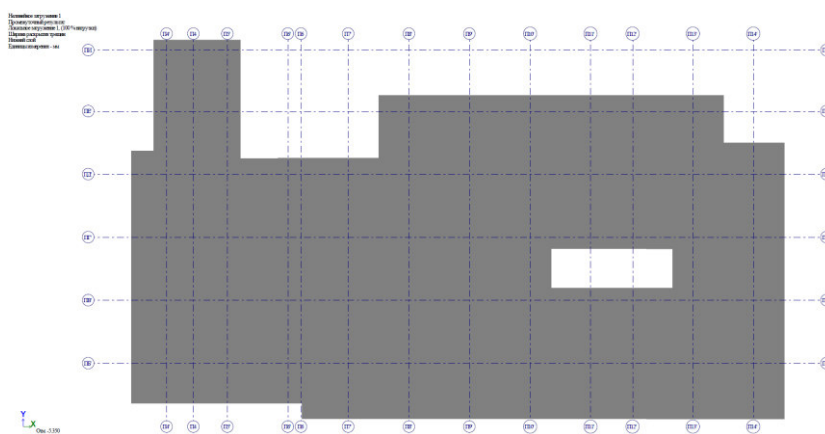


Рис. 2. Мозаика ширины раскрытия трещин в нижнем слое плиты

Fig. 2. Mosaic of the crack opening width in the lower layer of the plate

Испытание статическим нагружением предполагает проведение замеров прогибов и ширины раскрытия трещин на контролируемых участках. Измерение прогибов произведено прогибомерами 6-ПАО с ценой деления 0,01 мм, которые устанавли-

вались в точках, где перемещения и деформации являются наиболее характерными для исследуемой конструкции. В нашем случае прогибы измерялись в середине пролета. Чтобы исключить влияние осадки опор на величину измеряе-

мых прогибов, прогибомеры устанавливались также у опор исследуемого участка перекрытия.

На рисунке 3 представлена схема установки прогибомеров. Ширина раскрытия существующих трещин измерялась с помощью гипсовых маяков на 10 наиболее

характерных трещинах, установленных на двух участках каждой трещины.

Рисунок 4 иллюстрирует схему установки гипсовых маяков на трещинах. Ширина раскрытия трещин, образовавшихся в процессе испытаний, измерялась микроскопом МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

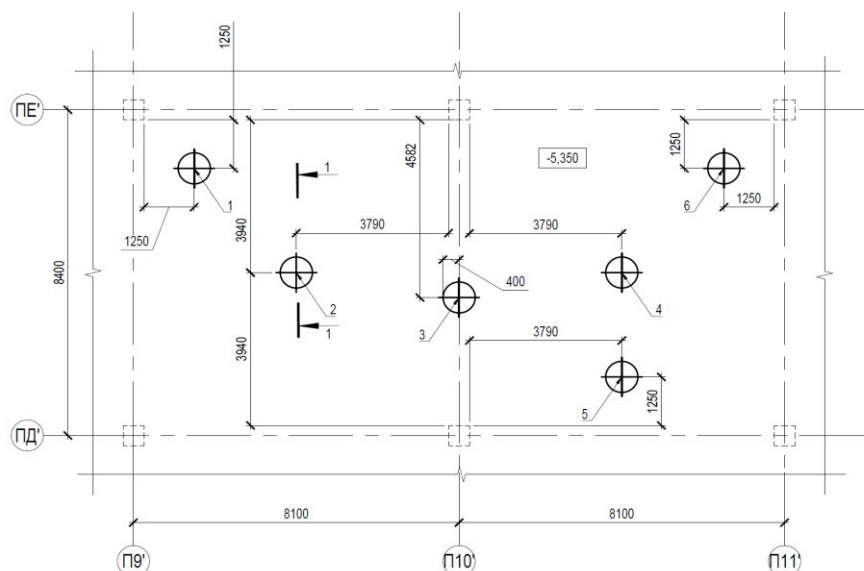


Рис. 3. Схема установки прогибомеров на исследуемом участке плиты перекрытия
Fig. 3. Diagram of the installation of deflection meters on the investigated section of the floor slab

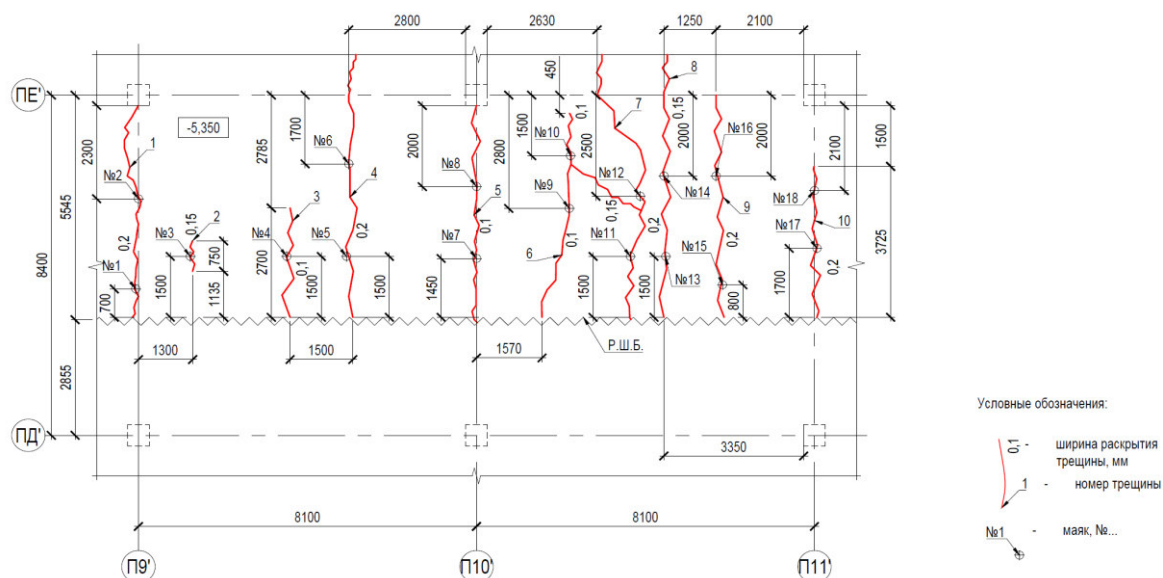


Рис. 4. Схема установки гипсовых маяков на трещины исследуемого участка плиты
Fig. 4. Scheme of installation of gypsum lighthouses on cracks of the investigated section of the plate

Непосредственно перед проведением
натурного испытания статистическим на-
грузением выполнены следующие работы:

- проверка размеров конструкций, сечений элементов и соединений;
- определение толщины защитного

слоя бетона в плите перекрытия магнитным методом;

- тщательный осмотр поверхности конструкций с фиксацией всех существующих дефектов в ведомости дефектов и на плане перекрытия;

- установка гипсовых маяков на десяти наиболее характерных существующих трещинах;

- фиксация длины трещин путем засечек на концах трещины.

По результатам освидетельствования ширина раскрытия существующих трещин составила 0,1-0,2 мм. Длина трещин соответствует ширине участка плиты между швом перерыва бетонирования и краем плиты.

Полная расчетная нагрузка, на которую испытывалась плита перекрытия, составляет 808 кН.

Во время испытаний нагрузка прикладывалась ступенями, составляющими 20 % от контрольной нагрузки (по 161,6 кН).

Количество ступеней нагружения до достижения контрольной нагрузки было принято равным пяти. Нагрузка распределялась равномерно по участку испытания плиты согласно схеме нагружения (рис. 5).

В качестве нагрузки использовались стальные листы $12 \times 5300 \times 1500$ мм, железобетонные блоки $150 \times 600 \times 2200$ мм, железобетонные упоры, кирпич, бассейны с водой.

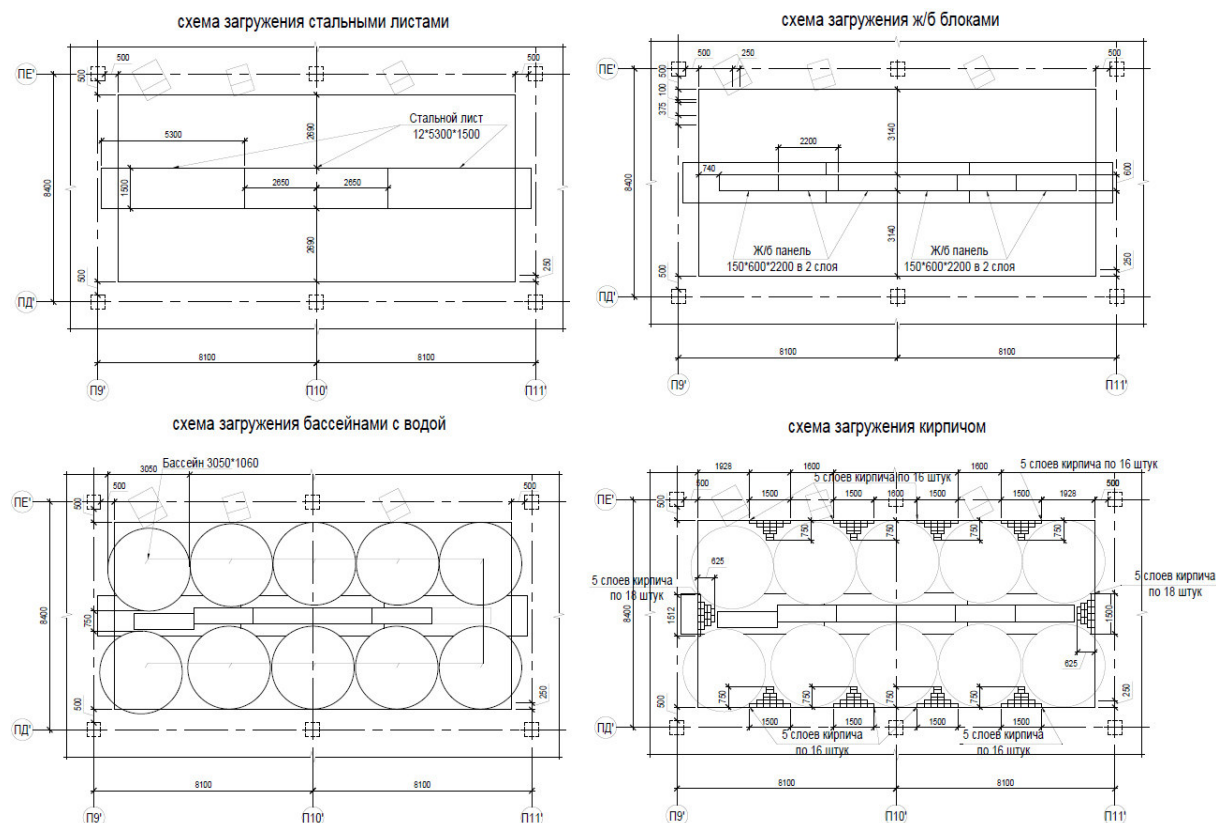


Рис. 5. Схема нагружения плиты перекрытия

Fig. 5. The scheme of loading the floor slab

В ходе испытания соблюдалась следующая очередность нагружения:

- на 1-м этапе на участок перекрытия были нагружены стальные листы

$12 \times 5300 \times 1500$ мм, железобетонные блоки $150 \times 600 \times 2200$ мм, ж/б упоры, кирпич и все 10 бассейнов были наполнены водой на высоту 9,5 см каждый;

- на каждом из последующих трех этапов все 10 бассейнов наполнялись водой в объеме $1,616 \text{ м}^3$ в каждый (по 22,0 см по высоте бассейна);

- на 5-м этапе все 10 бассейнов наполнялись водой на высоту 15,0 см каждый.

До начала загрузки были приняты меры по предотвращению обрушения перекрытия. Под перекрытием были установлены регулируемые по высоте страховочные леса с зазором 5-6 см от низа плиты перекрытия.

Результаты испытания

При проведении испытания контрольные замеры ширины раскрытия трещин и показания приборов (прогибометров) заносились в журнал. На пятом этапе нагружения конструкция выдержана 12 часов. По результатам испытания сделаны следующие **выводы**:

1. Ширина раскрытия сквозных трещин в плите, зафиксированных до начала испытаний, не изменилась в процессе испытания плиты нагружением, кроме трещины № 9 (маяк № 18). Увеличение ширины раскрытия трещины № 9 составило 0,05 мм. Ширина раскрытия этой трещины после выдержки плиты с полной нагрузкой в течение 12 часов составила 0,2 мм, что не превышает максимально допустимое значение в соответствии со СП 63.13330.2018 – 0,4 мм. Подтверждается температурно-усадочный и технологический характер этих трещин.

2. Силовых трещин на нижней и верхней поверхностях плиты в процессе испытания и после выдержки плиты с полной нагрузкой в течение 12 часов не образовалось.

3. Фактический максимальный прогиб от нагрузки (без учета собственного веса), полученный при испытаниях, составил 0,193 мм в точке ПЗ и 0,195 мм – в точке П4, что не превышает расчетный

прогиб от максимальной нагрузки (без учета собственного веса) – 0,69 мм.

4. В соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», на основании расчета по несущей способности и результатов статического испытания участка плиты нагружением состояние плиты перекрытия оценивается как работоспособное.

Заключение

Проведено натурное испытание плиты перекрытия, имеющей трещины в пролете, путем статического нагружения вертикальной нагрузкой. Испытание осуществлено в условиях строительства, до эксплуатации плиты и нагружения проектной нагрузкой по методике испытания для сборных железобетонных изделий в заводских условиях и предшествующем опыте аналогичных испытаний.

При сравнении данных, полученных расчетным путем и в ходе эксперимента, можно сделать вывод, что современные нормативные требования для расчета железобетонных конструкций закладывают большой запас несущей способности по прочности, жесткости и трещиностойкости. В реальности при нагружении плиты контрольной нагрузкой не возникло усилий, достаточных для образования силовых трещин, прогнозируемых по результатам расчета. Из этого можно сделать вывод, что проведения поверочного расчета в ходе технического обследования достаточно для анализа несущей способности конструкции.

Натурные испытания – это трудоемкий, ресурсозатратный и дорогостоящий метод оценки напряженно-деформированного состояния конструкции. Однако он может быть оправдан при обосновании отказа от усиления конструкции, когда поверочный расчет показывает такую необходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка коэффициентов предельных состояний деревянных конструкций на основе теории нечетких множеств / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, А. Г. Поздеев, Ю. А. Кузнецова, А. В. Таран // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2022. № 2. С. 36-50.
2. Котлов В. Г., Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А. Интегральный показатель устойчивости деревянных конструкций // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук: сборник научных трудов. Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 152-159.
3. Model of stress-strain state of three-layered reinforced concrete structure by the finite element methods / V. D. Tho, E. A. Korol, V. I. Rimshin, P. T. Anh // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18, no. 2. Pp. 62-73.
4. Римшин В. И., Кецо Е. С., Трунтов П. С. Этапы технического обследования конструкций административного здания // Жилищное строительство. 2020. № 6. С. 22-28.
5. Degradation damages survey of the silt reservoir structures / V. I. Rimshin, V. I. Kurbatov, V. T. Erofeev, E. S. Ketsko // Building and Reconstruction. 2022. No. 2 (100). Pp. 65-74.
6. Автоматизация решения задачи теплопереноса в древесине стропильных конструкций с нагелем методом Лапласа / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, А. Г. Поздеев, Ю. А. Кузнецова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 2. С. 53-63.
7. Котлов В. Г., Кузнецова Ю. А. Расчет эффективности использования металлических зубчатых пластин для соединения дощатых ферм // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 3. С. 69-80.
8. Calculating the strengthening of construction structures before the reconstruction of the building / A. N. Neverov, E. S. Ketsko, P. S. Truntov, V. I. Rimshin // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 182. Pp. 173-179.
9. Комплексный подход к контролю качества высокопрочного бетона в период эксплуатации / В. И. Римшин, П. С. Трунтов, Е. С. Кецо, А. С. Нагуманова // Строительные материалы. 2020. № 6. С. 4-7.
10. Римшин В. И., Анпилов С. М., Трунтов П. С. Исследование несущей способности сборных железобетонных плит с внутренней распоркой // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. № 6 (1066). С. 27-29.
11. Римшин В. И., Кецо Е. С., Трунтов П. С. Результаты расчета усиления строительных конструкций здания методом конечных элементов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2020. № 4(10). С. 67-78.
12. Автоматизация жизненного цикла зданий при реконструкции и капитальном ремонте / В. И. Римшин, И. Л. Шубин, В. Т. Ерофеев, А. А. Аветисян // Жилищное строительство. 2022. № 7. С. 6-12.
13. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, имеющих повреждения арматуры вследствие контакта с хлоридной агрессивной средой / В. И. Римшин, Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин, А. А. Крючков // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 138-146.
14. Римшин В. И., Шубин Л. И., Савко А. В. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 483-491.
15. Бондаренко В. М., Римшин В. И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство». Москва: Высшая школа, 2006.
16. Развитие теории деградации бетонного композита / В. И. Римшин, А. А. Варламов, В. Л. Курбатов, С. М. Анпилов // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 12-17.
17. Finite element modeling of the work of bent reinforced concrete elements of rectangular section in the abaqus software environment / P. A. Amelin, V. I. Rimshin, A. A. Kryuchkov, D. V. Obernikhin // Innovations and Technologies in Construction. 2023. Pp. 268-275.
18. Усиление конструкций здания текстильной промышленности внешним армированием из композитных материалов / В. И. Римшин, В. Л. Курбатов, Е. С. Кецо, П. С. Трунтов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6 (396). С. 242-249.
19. Compressed reinforced concrete elements bearing capacity of various flexibility / A. L. Krishan, M. A. Astafeva, V. I. Rimshin, I. L. Shubin, A. A. Stupak // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 182. Pp. 283-291.
20. Engineering calculations of acidifier retaining walls during water treatment facilities designing / V. I. Rimshin, P. S. Truntov, I. S. Kuzina,

S. I. Roshchina, E. S. Ketsko // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 182. Pp. 55-73.

21. Римшин В. И., Кецо Е. С., Трунтов П. С. Проектные и расчётные решения при проектировании сооружений биологической очистки // Эксперт: теория и практика. 2020. № 6 (9). С. 31-39.

22. Assessment of the impact of high temperature on the strength of reinforced concrete structures during operation / V. I. Rimshin, V. I. Telichenko, P. S. Truntov, A. L. Krishan, G. S. Bykov // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 887. Pp. 460-465.

23. Research of the degradation process of reinforced concrete structures / A. A. Varlamov, V. I. Rimshin, A. Davydov, A. R. Minnatov, A. M. Kurbatov // IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering. 2021. Vol. 1079. Pp. 062005.

24. Eryshev V. A., Karpenko N. I., Rimshin V. I. The parameters ratio in the strength of bent elements calculations by the deformation model and the ultimate limit state method // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. Pp. 022076.

25. Deformation models of concrete strength calculation in the edition of russian and foreign norms / N. I. Karpenko, V. I. Rimshin, V. A. Eryshev, L. I. Shubin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. Pp. 052043.

Статья поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 12.04.2024; принята к публикации 31.05.2024

Информация об авторах

РИМШИН Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры жилищно-коммунального комплекса, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), член-корреспондент РААСН, г. Москва. Область научных интересов – теоретические основы силового сопротивления строительных конструкций зданий и сооружений, подверженных деградационным повреждениям. Расчет и конструирование энергоэффективных конструкций в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве. Автор более 680 научных публикаций, в том числе 110 работ в системах WOS и SCOPUS, 52 учебников и учебных пособий с грифом Минобрнауки, 32 патента РФ и авторских свидетельств. E-mail: v.rimshin@niisf.ru

ТРУНТОВ Павел Сергеевич – аспирант кафедры жилищно-коммунального комплекса, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва. Область научных интересов – техническое обследование зданий и сооружений, проектирование и непосредственное выполнение работ по реконструкции и ремонту зданий и сооружений, техническая эксплуатация зданий. Автор более 50 научных публикаций. E-mail: pavel_truntov@mail.ru

КИСЛОВА Виктория Валерьевна – магистрант кафедры строительной и теоретической механики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва. Область научных интересов – комплексное техническое обследование зданий и сооружений, поверочные расчеты конструкций. E-mail: viktoriya_kislova22@mail.ru

КИСЛОВА Екатерина Валерьевна – магистрант кафедры строительной и теоретической механики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва. Область научных интересов – усиление строительных конструкций. E-mail: katerina22kislova@mail.ru

Вклад авторов: авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 69.07

DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.1.47>

EDN: HMOUEX

Assessment of the stress-strain state of building structures by field tests during operation**V. I. Rimshin^{1,2✉}, P. S. Truntov¹, V. V. Kislova¹, E. V. Kislova¹**¹National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (Moscow)

v.rimshin@niisf.ru ✉

Abstract. *Introduction.* Engineers nowadays encounter a variety of contentious scenarios when doing a technical inspection of a building. Determining the type of cracks that have been found in reinforced concrete structures is one example of this. The process of doing the structural verification calculation, which enables the design scheme to be simulated and the stress-strain state to be analysed to find potentially risky areas and force cracks, has been used for a long time and has proved its effectiveness. However, in some cases, the verification calculation may not be sufficient. This article presents the results of an assessment of the stress-strain state by conducting a full-scale static loading test of the floor slab of the reconstructed building, taking into account the cracks identified during the technical inspection of the building. The test was carried out in the conditions of the current construction. The execution of full-scale testing on reinforced concrete during the operational period is not currently governed by any regulatory documents. However, there exist guidelines for evaluating precast concrete objects in manufacturing settings and on laboratory test benches. In order to conduct such tests on operating constructions, in each specific case it is necessary to develop a work programme, which is a kind of research to substantiate the correctness and plausibility of the test results.

The aim of research is to determine the stress-strain state of the floor slab, taking into account the cracks identified during the technical inspection, by full-scale static loading tests, as well as to evaluate the effectiveness of this method.

Materials and methods. This study contains a methodology for conducting full-scale testing of the floor slab. The justification of the basis for performing a full-scale test of the floor slab is given. The work programme, measuring instruments, and equipment used are described. A calibration calculation of the plate was carried out to obtain the predicted test results. The description of the loading scheme and the materials used to create the actual control load at the test site are given.

Research results. Qualitative and quantitative indicators of changes in the stress-strain state of the floor slab during static loading are given. The conclusion is made about the technical condition of the structure in accordance with current regulations. It was possible to draw conclusions about the efficacy of the technique outlined based on the field test findings.

Conclusion. A summary is provided of the study's findings. The effectiveness of testing building structures on a large scale to ascertain their stress-strain condition is concluded.

Keywords: stress-strain state; crack resistance; rigidity; field tests; static loading; deflection; crack opening width; deflection meter.

Funding: this research received no external funding.

For citation: Rimshin V. I., Truntov P. S., Kislova V. V., Kislova E. V. Assessment of the stress-strain state of building structures by field tests during operation. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2024;(1):47–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2024.1.47>; EDN: HMOUEX

REFERENCES

1. Fedosov S. V., Kotlov V. G., Pozdeev A. G., Kuznetsova Yu. A., Taran A. V. Estimation of coefficients of limit states of wooden structures based on the theory of fuzzy sets. *Bulletin of the Volga State*

University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies. 2022;(2):36-50. (In Russ.).

2. Kotlov V. G., Pozdeev A. G., Kuznetsova Yu. A. Integral indicator of the stability of wooden structures in the collection. *Bulletin of the Volga Territorial Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences: collection of scientific papers.* Nizhny Novgorod; 2021:152-159. (In Russ.).

3. Vu Dinh Tho, Korol E. A., Rimshin V. I., Pham Tuan Anh. Model of stress-strain state of three-layered reinforced concrete structure by the finite element methods. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2022;18(2):62-73.

4. Rimshin V. I., Ketsko E. S., Trunov P. S. Stages of technical inspection of administrative building structures. *Housing construction.* 2020;(6):22-28. (In Russ.).

5. Rimshin V. I., Kurbatov V. L., Erofeev V. T., Ketsko E. S. Degradation damages survey of the silt reservoir structures. *Building and Reconstruction.* 2022;(2):65-74.

6. Fedosov S. V., Kotlov V. G., Pozdeev A. G., Kuznetsova Yu. A. Automation of solving the problem of heat transfer in wood of rafter structures with a nagel by the Laplace method. *Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2021;(2):53-63. (In Russ.).

7. Kotlov V. G., Kuznetsova Yu. A. Calculation of the efficiency of using metal toothed plates for connecting plank farms. *Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2019;(3):69-80. (In Russ.).

8. Neverov A. N., Ketsko E. S., Truntov P. S., Rimshin V. I. Calculating the strengthening of construction structures before the reconstruction of the building. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2022;182:173-179.

9. Rimshin V. I., Truntov P. S., Ketsko E. S., Nagumanova A.S. An integrated approach to quality control of high-strength concrete during operation. *Building materials.* 2020;(6):4-7. (In Russ.).

10. Rimshin V. I., Anpilov S. M., Truntov P. S. Investigation of the bearing capacity of prefabricated reinforced concrete slabs with an internal spacer. *BST: Bulletin of construction machinery.* 2023;(6):27-29. (In Russ.).

11. Rimshin V. I., Ketsko E. S., Truntov P. S. The results of calculating the reinforcement of building structures by the finite element method. *Bulletin of the Vologda State University. Series: Technical Sciences.* 2020;(4):67-78. (In Russ.).

12. Rimshin V. I., Shubin I. L., Yerofeev V. T., Avetisyan A. A. Automation of the life cycle of

buildings during reconstruction and major repairs. *Housing construction.* 2022;(7):6-12. (In Russ.).

13. Rimshin V. I., Suleymanova L. A., Amelin P. A., Kryuchkov A. A. Experimental studies of bent reinforced concrete elements with reinforcement damage due to contact with an aggressive chloride medium. *Expert: theory and practice.* 2023;(3):138-146. (In Russ.).

14. Rimshin V. I., Shubin I. L., Savko A. V. Resource of force resistance of reinforced concrete structures of engineering structures. *Academia. Architecture and construction.* 2009;(5):483-491. (In Russ.).

15. Bondarenko V. M., Rimshin V. I. Examples of calculation of reinforced concrete and stone structures a textbook for students of higher educational institutions studying in the specialty "Industrial and civil engineering" areas of training of certified specialists "Construction". Ser. For higher education institutions. Construction. Moscow; 2006. (In Russ.).

16. Rimshin V. I., Varlamov A. A., Kurbatov V. L., Anpilov S. M. Development of the theory of degradation of concrete composite. *Building materials.* 2019;(6):12-17. (In Russ.).

17. Amelin P. A., Rimshin V. I., Kryuchkov A. A., Obernikhin D. V. Finite element modeling of the work of bent reinforced concrete elements of rectangular section in the abaqus software environment. *Innovations and Technologies in Construction.* 2023:268-275.

18. Rimshin V. I., Kurbatov V. L., Ketsko E. S., Trunov P. S. Reinforcement of structures of the textile industry building by external reinforcement of composite materials. *Izvestia of higher educational institutions. Technology of the textile industry.* 2021;(6):242-249. (In Russ.).

19. Krishan A. L., Astafeva M. A., Rimshin V. I., Shubin I. L., Stupak A. A. Compressed reinforced concrete elements bearing capacity of various flexibility. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2022;182:283-291.

20. Rimshin V. I., Truntov P. S., Kuzina I. S., Roshchina S. I., Ketsko E. S. Engineering calculations of acidifier retaining walls during water treatment facilities designing. *Lecture Notes in Civil Engineering.* 2022;(182):55-73.

21. Rimshin V. I., Ketsko E. S., Trunov P. S. Design and calculation solutions for the design of biological treatment facilities. *Expert: theory and practice.* 2020;(6):31-39. (In Russ.).

22. Rimshin V. I., Telichenko V. I., Truntov P. S., Krishan A. L., Bykov G. S. Assessment of the impact of high temperature on the strength of reinforced concrete structures during operation. *Key Engineering Materials.* 2021;887:460-465.

23. Varlamov A. A., Rimshin V. I., Davydov A.,

Minnatov A. R., Kurbatov A. M. Research of the degradation process of reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1079:062005.

24. Eryshev V. A., Karpenko N. I., Rimshin V. I. The parameters ratio in the strength of bent elements calculations by the deformation model and the ultimate limit state method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International*

Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020:022076.

25. Karpenko N. I., Rimshin V. I., Eryshev V. A., Shubin L. I. Deformation models of concrete strength calculation in the edition of russian and foreign norms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019"*. 2020:052043.

The manuscript was submitted on 12.03.2024; reviewed on 12.04.2024; adopted for publication on 31.05.2024

Information about the authors

RIMSHIN Vladimir Ivanovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Housing and Communal Complex of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Corresponding Member of the RAASN, Moscow. Research interests – theoretical foundations of force resistance in building constructions subject to degradation damage. Calculation and design of energy-efficient structures in housing and communal services and construction. Author of more than 680 publications, including 110 works indexed in WoS and SCOPUS, 52 student manuals approved by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 32 patents for inventions of the Russian Federation. E-mail: v.rimshin@niisf.ru

TRUNTOV Pavel Sergeevich – postgraduate student of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow. Research interests – technical inspection of buildings and structures; design and direct execution of works on reconstruction and repair of buildings and structures; technical operation of buildings. Author of more than 50 publications. E-mail: pavel_truntov@mail.ru

KISLOVA Victoria Valerevna – Master student of the Department of Structural and Theoretical Mechanics, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow. Research interests – complex technical inspection of buildings and structures, verification calculations of structures. E-mail: viktoriya_kislova22@mail.ru

KISLOVA Ekaterina Valerevna – Master student of the Department of Structural and Theoretical Mechanics, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow. Research interests – reinforcement of building structures. E-mail: katerina22kislova@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this paper.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.