

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.04

DOI: 10.21822/2073-6185-2026-53-1-233-241



Оригинальная статья /Original article

**Анализ напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых
железобетонных конструкций с использованием ультразвука**
Г.В. Несветаев¹, А.В. Коллеганов², Н.А. Коллеганов², А.Н. Ивлев³, А.М. Омаров⁴

¹Донской государственный технический университет,

¹344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия,

²ЗАО «Конструкторское бюро Ивлева» НПФ «Геотекспроектстрой»,

²355037, г. Ставрополь, ул. Доваторцев 44Б, офис 3, Россия,

³Северо-Кавказский федеральный университет,

³355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, Россия,

⁴Дагестанский государственный технический университет,

⁴367015, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Исследование и анализ параметров напряженно-деформированного состояния железобетонных балок с использованием периодического ультразвукового контроля в сжатой и растянутой зонах с целью разработки предложений по применению метода при обследовании и мониторинге эксплуатируемых железобетонных конструкций. **Метод.** Экспериментальные исследования проведены по схеме четырехточечного изгиба в соответствии с ГОСТ 8829-2018 с измерением прогибов в центре пролета и в точках приложения нагрузки и деформаций бетона на базе 500 мм на уровне сжатой и растянутой арматуры с расчетом кривизны, фиксацией появления и развития трещин и изменения скорости ультразвукового импульса в зоне чистого изгиба в сжатой и растянутой зонах сечения и расчетом длины нормальных трещин. Исследованы балки из бетонов классов В25 и В40 с коэффициентом армирования 0,0149 и 0,0111. **Результат.** Установлены зависимости относительной скорости ультразвукового импульса, изменения относительной длины нормальной трещины, жесткости сечения, модуля упругости, относительной высоты с ненарушенной сплошностью бетона в сечении, прогибов по длине балок в точках приложения нагрузки и в середине пролета от относительного изгибающего момента. Определено поэтапное изменение скорости ультразвукового импульса. В балках со схемой разрушения по поперечной силе рост скорости ультразвукового импульса в растянутой зоне не фиксируется. **Вывод.** Методика анализа напряженно-деформированного состояния с использованием дискретного измерения скорости ультразвукового импульса в сжатой и растянутой зонах железобетонных балок может быть использована при экспериментальных исследованиях, обследовании и мониторинге эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Ключевые слова: железобетонные балки, скорость ультразвукового импульса, длина нормальной трещины, стадии напряженно-деформированного состояния

Для цитирования: Г.В. Несветаев, А.В. Коллеганов, Н.А. Коллеганов, А.Н. Ивлев, А.М. Омаров. Анализ напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций с использованием ультразвука. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(1):233-241. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-1-233-241.

**Analysis of the Stress-Strain State of operated reinforced Concrete Structures
Using Ultrasound**

G.V. Nesvetaev¹, A.V. Kolleganov², N.A. Kolleganov², A.N. Ivlev³, A.M. Omarov⁴

¹Don State Technical University,

¹ 1Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russia,

²ZAO "Ivlev Design Bureau" NPF "Geotekspromstroy",

²44B Dovatorcev St., Office 3, Stavropol 355037, Russia,

³North Caucasus Federal University,

³1 Pushkin St., Stavropol 355017, Russia,

⁴Daghestan State Technical University,

⁴70 Imam Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia

Abstract. Objective. Research and analysis of parameters of the stress-strain state of reinforced concrete beams using periodic ultrasonic testing in compressed and tensile zones and development of proposals for the application of the method in the inspection and monitoring of reinforced concrete structures in operation. **Method.** Experimental studies were carried out using a four-point bending scheme in accordance with GOST 8829-2018 with measurements of deflections in the span center and at the points of load application and concrete deformations on a 500 mm base at the level of compressed and tensile reinforcement with calculation of curvature, recording the appearance and development of cracks and changes in the ultrasonic pulse velocity in the pure bending zone in the compressed and tensile zones of the section and calculating the length of normal cracks. The length of normal cracks was also calculated. Beams made of concrete with classes B25 and B40, with reinforcement coefficients of 0.0149 and 0.0111, were studied. **Result.** The relationships between the relative ultrasonic pulse velocity, the change in the relative normal crack length, the section stiffness, the elastic modulus, the relative height of the unbroken concrete section, and the deflections along the beam length at load application points and at midspan were determined. A gradual change in the ultrasonic pulse velocity was determined. In beams with a shear force failure pattern, no increase in the ultrasonic pulse velocity was detected in the tension zone. **Conclusion.** The proposed method for analyzing the stress-strain state using discrete measurement of the velocity of an ultrasonic pulse in compressed and stretched zones of reinforced concrete beams can be used in experimental studies and in the inspection and monitoring of operated reinforced concrete structures.

Keywords: reinforced concrete beams, ultrasonic pulse velocity, normal crack length, stress-strain state stages

For citation: G.V. Nesvetaev, A.V. Kolleganov, N.A. Kolleganov, A.N. Ivlev, A.M. Omarov. Analysis of the Stress-Strain State of operated reinforced concrete structures using ultrasound. Herald of Daghestan State Technical University. Technical sciences. 2026; 53(1):233-241. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-1-233-241

Введение. Одной из основных задач, решаемых в процессе эксплуатации строительных объектов, является организация контроля за напряженно-деформированным состоянием (НДС) основных несущих конструкций с целью обеспечения их механической надежности и эксплуатационной безопасности [1]. В соответствии с [2] задача решается периодическими обследованиями строительных конструкций или постоянным мониторингом за техническим состоянием объекта. Поскольку перманентный мониторинг процедура финансово затратная и трудоемкая, его используют при эксплуатации объектов повышенного уровня ответственности, уникальных и технически сложных сооружений, а также в случаях предаварийного состояния строительных конструкций, эксплуатация которых не может быть остановлена в силу их высокой социальной значимости, например, на предприятиях водоснабжения, энергетического комплекса и т.п. Для зданий и сооружений, регламент эксплуатации которых предполагает дискретные обследования, отследить динамику изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций достаточно сложно. Информация об изменении параметров напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов объекта позволяет своевременно принять меры организационно-технического характера по обеспечению его безопасной эксплуатации. К основным параметрам объективного контроля, характеризующим изменение технического состояния железобетонных конструкций, относятся прогибы и перемещения, но они в большей степени регламентируют их переход в аварийное состояние по достижению

предельно допустимых значений деформаций [3, 4]. Применяется контроль ширины раскрытия трещин.

Общепринятого критерия, описывающего все стадии работы железобетонных конструкций в процессе эксплуатации, в настоящее время не предложено. В [5] в качестве критерия надежности железобетонной балки на стадии эксплуатации рассматривается критерий длины трещины в бетоне.

Согласно [6], при условии «длина трещины $L_{\text{тр}} > 0,3$ рабочей высоты сечения балки h_0 » возможно изменение направления развития трещин на продольное, что может весьма негативно повлиять на несущую способность железобетонной балки вплоть до разрушения. Согласно [7], длина нормальной трещины в изгибаемой балке определяется с использованием метода ультразвукового контроля, то в качестве одного из наиболее перспективных вариантов организации контроля за напряженно-деформированным состоянием изгибаемых элементов целесообразно рассматривать дискретный контроль за развитием трещин ультразвуковым методом.

Сейсмоакустические и ультразвуковые [8, 9] методы, такие как импульсный, эхо-локации, ультразвуковой томографии [10] и другие широко применяются в практике современного строительства из монолитного железобетона [11-13]. Они используются для оценки качества выполнения бетонных работ: выявления скрытых дефектов, определения параметров армирования, контроля геометрических параметров сечения и сплошности конструкций [14, 15] при одностороннем доступе или полном отсутствии доступа к конструктивным элементам, а также для моделирования и прогноза [16].

Постановка задачи. Анализ напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов дискретной фиксацией изменения скорости распространения ультразвукового импульса в их сжатой и растянутой зонах позволяет оценивать техническое состояние эксплуатируемых конструкций. Поскольку при реализации метода нет необходимости учитывать влияние влажностного состояния бетона в момент измерений [17], метод может быть достаточно легко реализован. В настоящей работе предложена методика оценки НДС железобетонных балок с использованием периодического ультразвукового контроля.

Методы исследования. Экспериментальные исследования НДС железобетонных балок проведены по схеме четырехточечного изгиба в соответствии с ГОСТ 8829-2018 (рис.1, 2). Ультразвуковые датчики располагались в зоне действия максимального изгибающего момента в растянутой и сжатой зонах сечения по схеме поверхностного прозвучивания на базе 120 мм [18]. В процессе испытаний фиксировалось время прохождения ультразвукового импульса на каждом этапе нагружения. Контроль деформаций осуществлялся с использованием индикаторов часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм.

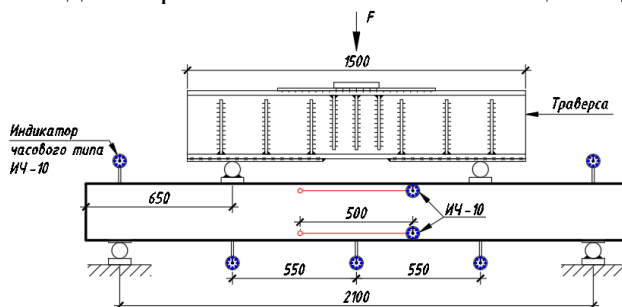


Рис. 1 – Схема проведения испытаний железобетонных балок на изгиб
Fig. 1 – Scheme of testing reinforced concrete beams for bending

Для испытаний были изготовлены железобетонные балки сечением 125x250(h) мм конструктивной длиной 2400 мм. Пролет в свету составлял 2100 мм. Схема нагружения принята по условию обеспечения достаточно высоких значений поперечной силы.



Рис. 2 – Общий вид испытательного стенда
 Fig. 2 – General view of the test bench

Исследованы балки:

- из тяжелого бетона (ТБ) класса по прочности при сжатии В25 с начальным модулем упругости 28,75 ГПа с рабочей арматурой А500с d16 и d12 мм, (ТБ16 и ТБ12);
- из бетона каркасной структуры (БКС) [19] класса по прочности при сжатии В40, с начальным модулем упругости 38,95 ГПа с рабочей арматурой А500с d16 и d12 мм, (далее БКС16 и БКС12). Схемы армирования приведены на рис. 3. Для обеспечения разрушения балки БКС 16 по поперечной силе использовано недостаточное поперечное армирование.

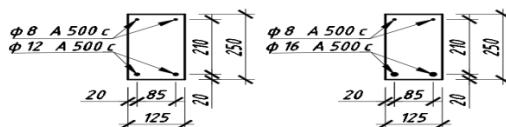


Рис. 3 – Схемы армирования железобетонных балок с различной формой достижения предельного состояния
 Fig. 3 – Schemes of reinforcement of reinforced concrete beams with different forms of reaching the ultimate state

Нагружение балок производилось гидравлическим домкратом ступенями, не превышающими 10% от контрольной нагрузки по прочности в соответствии с ГОСТ 8829-2018. В процессе испытаний на всех этапах нагружения фиксировались: прогибы в центре пролета и в точках приложения нагрузки по рис. 1; деформации на уровне сжатой и растянутой арматуры на базе 500 мм по рис. 1; появление и развитие трещин (рис.2); изменение скорости УЗИ в зоне чистого изгиба в сжатой и растянутой зонах сечения. По результатам измерений определяли: изменение жесткости балок и прогибов [20]; изменение скорости УЗИ; изменение модуля упругости бетона по величине изменения динамического модуля упругости [21]. За относительную скорость УЗИ принимали отношение текущей скорости к первоначальной в ненагруженном состоянии. Расчеты прогибов и изменения жесткости сечений представлены в [20]. Расчет кривизны выполнен по формуле:

$$\frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_b}{h_0}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_s, \varepsilon_b$ – соответственно деформации бетона на уровне растянутой (рис. 1) и сжатой (рис. 1) арматуры.

Расчет длины трещины по результатам измерения скорости УЗИ выполнен в соответствии с представленной в [5, 7] методикой:

$$L_{crc} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{\tau_{crc}}{\tau_0}\right)^2 - 1}, \quad (2)$$

где $v = 0,12/\tau_0$ – скорость УЗИ в сечении без трещины, м/с; τ_{crc}, τ_0 – соответственно время распространения УЗИ в сечении с трещиной и без трещины.

Обсуждение результатов. Разрушение балки ТБ16 произошло по бетону сжатой зоны. Разрушение балок ТБ12 и БКС12 произошло в результате достижения текучести растянутой арматуры. Разрушение балки БКС 16 произошло по поперечной силе в зоне среза (рис. 2). На рис. 4 представлена зависимость относительной скорости УЗИ в исследованных балках от относительного изгибающего момента.

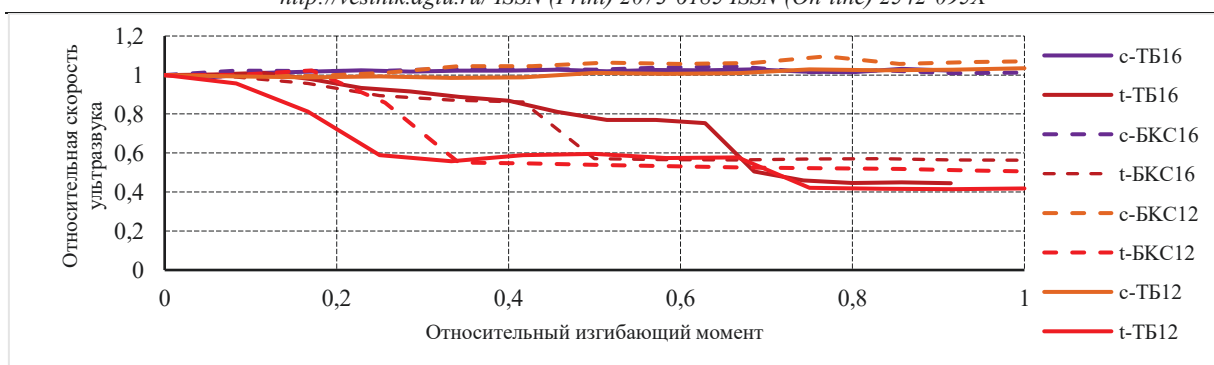


Рис. 4 – Зависимость относительной скорости УЗИ от относительного изгибающего момента:
с, t – соответственно в зоне сжатого бетона, в зоне растянутого бетона;

16, 12 – диаметр рабочей арматуры, мм;

ТБ, БКС – балки из тяжелого бетона и бетона каркасной структуры

Fig. 4 – Dependence of the relative ultrasound speed on the relative bending moment:

c, t – in the compressed concrete zone, in the tensioned concrete zone, respectively;

16, 12 – diameter of the working reinforcement, mm;

TB, BKS – beams made of heavy concrete and frame concrete

На рис. 5 представлено изменение относительной длины трещины L_{crc}/h_0 , где $h_0 = 22,5$ см – рабочая высота сечения балок, определенной по изменению соотношения скоростей УЗИ (UPV) в сечении с трещиной и без трещины [5, 7], от величины относительного изгибающего момента.

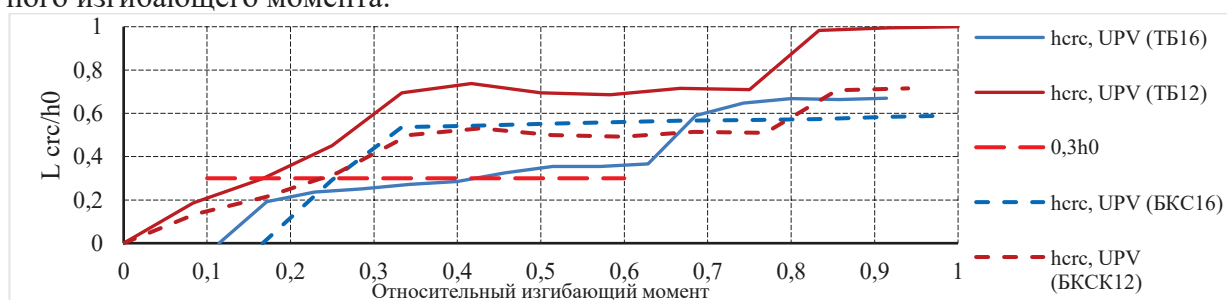


Рис. 5 – Изменение относительной длины трещины L_{crc}/h_0 , от величины относительного изгибающего момента, где 16, 12 – диаметр рабочей арматуры, мм;

ТБ, БКС – балки из тяжелого бетона и бетона каркасной структуры

Fig. 5 – Change in relative crack length L_{crc}/h_0 , depending on the relative bending moment

where 16, 12 are the diameter of the working reinforcement, mm;

TB, BKS are the beams made of heavy concrete and frame concrete

На рис. 6 представлено изменение относительных показателей жесткости сечения EI/EI_0 [20], модуля упругости E/E_0 и относительной высоты бетона с ненарушенной сплошностью в сечении $(H-h_{crc})/h_0$ для балок с рабочей арматурой d16 А500с.

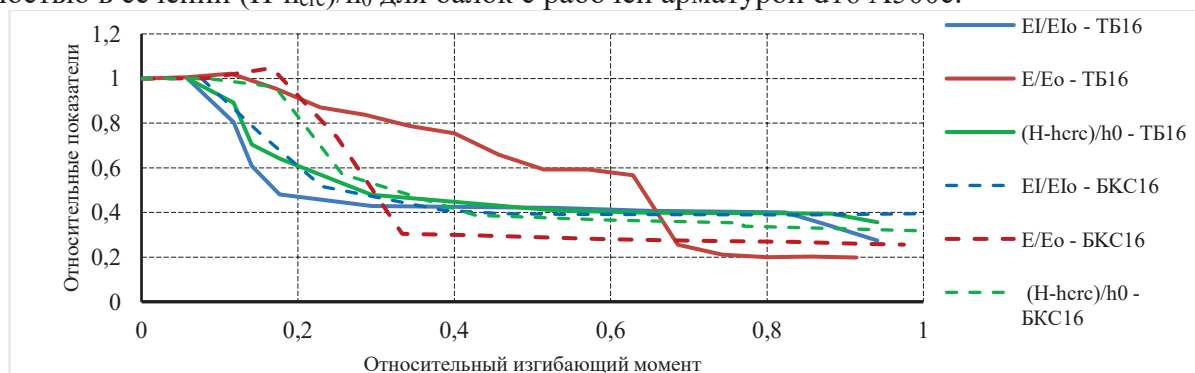


Рис. 6 – Изменение относительных показателей жесткости сечения EI/EI_0 [20], модуля упругости E/E_0 и относительной высоты бетона с ненарушенной сплошностью в сечении $(H-h_{crc})/h_0$, где ТБ, БКС – балки из тяжелого бетона и бетона каркасной структуры

Fig. 6 – Change in the relative stiffness indices of the section EI/EI_0 [20], the modulus of elasticity E/E_0 and the relative height of concrete with unbroken continuity in the section $(H-h_{crc})/h_0$ where TB, BKS are beams made of heavy concrete and frame concrete

На рис. 7 представлены значения прогибов по длине балки в точках приложения нагрузки (2, 4) и в середине пролета (3) по рис.1 в зависимости от величины относительного изгибающего момента балки БКС12.

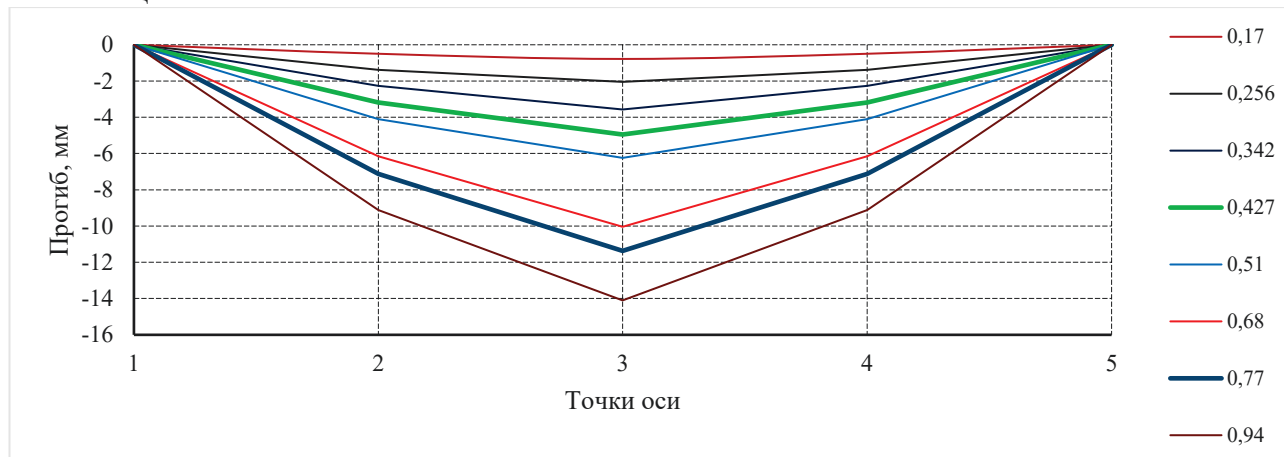


Рис. 7 – Значения прогибов по длине балки в точках приложения нагрузки (2,4) и в середине пролета (3) по рис.1 в зависимости от величины относительного изгибающего момента, где 0,17...0,94 – относительный изгибающий момент; 0,427 – появление видимой трещины в зоне постоянного изгибающего момента, 0,77 – появление видимой трещины в зоне среза

Fig. 7 – Values of deflections along the length of the beam at the points of load application (2,4) and in the middle of the span (3) according to Fig. 1 depending on the magnitude of the relative bending moment, where 0.17...0.94 is the relative bending moment; 0.427 is the appearance of a visible crack in the zone of constant bending moment, 0.77 is the appearance of a visible crack in the shear zone

На рис. 8 представлены значения прогибов по длине балки в точках приложения нагрузки (2, 4) и в середине пролета (3) по рис. 1 в зависимости от величины относительного изгибающего момента балки ТБ12.

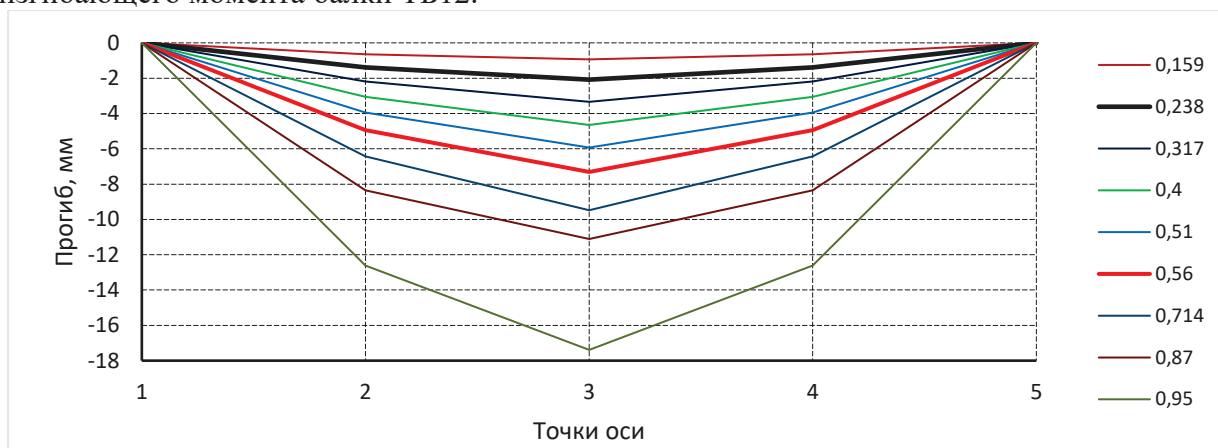


Рис. 8 – Значения прогибов по длине балки в точках приложения нагрузки (2,4) и в середине пролета (3) по рис.1 в зависимости от величины относительного изгибающего момента, где 0,159...0,95 – относительный изгибающий момент; 0,238 – появление видимой трещины в зоне постоянного изгибающего момента, 0,56 – появление видимой трещины в зоне среза

Fig. 8 – Values of deflections along the length of the beam at the points of load application (2,4) and in the middle of the span (3) according to Fig. 1 depending on the magnitude of the relative bending moment, where 0.159...0.95 is the relative bending moment; 0.238 is the appearance of a visible crack in the zone of constant bending moment, 0.56 is the appearance of a visible crack in the shear zone

В сжатой зоне сечения при всех уровнях нагружения скорость УЗИ остается практически постоянной (рис.4), имеет место незначительный, в пределах 8%, рост скорости УЗИ, что связано с уплотнением структуры бетона под влиянием сжимающих напряжений. В растянутой зоне сечения изменение скорости УЗИ в зависимости от уровня нагружения имеет сложный характер.

На первом этапе до уровня изгибающего момента $0,1 \dots 0,15 M_{ult}$ имеет место незначительное снижение скорости УЗИ вследствие разуплотнения структуры бетона в результате воздействия растягивающих напряжений. Далее, на втором этапе, имеет место падение,

достаточно резкое, но практически линейное, скорости УЗИ, причем в балках с арматурой d 12 это проявляется при меньшем уровне изгибающего момента, что связано с образованием нормальной трещины в сечении.

На третьем этапе, имеет место стабилизация скорости УЗИ, что можно трактовать как прекращение роста первоначально образовавшейся нормальной трещины (рис. 4). Стабилизация или замедленный рост первоначально образовавшейся трещины имеет место при уровне изгибающего момента от 0,2 до 0,75 M_{ult} (рис. 5), причем относительная длина трещины L_{crc}/h_0 при этом составляет от 0,3 до 0,7 h_0 (рис. 2).

Как отмечалось выше, по данным [6] при $L_{crc}/h_0 > 0,3$ возможно изменение траектории трещины. Стабилизация скорости УЗИ в зоне первоначально образовавшейся трещины сопровождается существенным замедлением уменьшения жесткости сечения (рис. 6). Некоторое снижение жесткости сечения (рис. 6) на фоне относительной стабилизации скорости УЗИ (длины первоначально образовавшейся трещины) и рост прогибов балки (рис. 7) происходит вследствие формирования сетки нормальных, в т.ч. за пределами зоны чистого изгиба, и наклонных трещин (рис. 2).

На четвертом этапе, при уровне изгибающего момента 0,65...0,75 M_{ult} в балках, разрушение которых произошло вследствие текучести растянутой арматуры (ТБ12 и БКС12) или по бетону сжатой зоны (ТБ16), имеет место резкий рост длины первоначально образовавшейся трещины, рост прогибов и текучесть арматуры. У балок ТБ12 и БКС12 M_{ult} , определенный по СП 63.13330-2018, составил 0,68...0,69 от экспериментального M_{ult} , а у балки ТБ16 – 0,8. У балки БКС16, разрушение которой произошло по поперечной силе в зоне среза, подобного скачка скорости УЗИ не наблюдается (рис.5). Разрушение по поперечной силе произошло при величине изгибающего момента меньшей расчетного для нормального сечения значения.

Вывод. Проведение обследования и мониторинга эксплуатируемых железобетонных конструкций зданий и сооружений предусматривает оценку их технического состояния на основе параметров объективного контроля.

Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций на разных стадиях эксплуатации может быть выполнен ультразвуковым методом, основанным на фиксации скорости распространения ультразвукового импульса в сжатой и растянутой области сечений в зоне действия максимального изгибающего момента. При фиксации в обследуемой балке нормальных трещин замеры следует начинать с трещины с наибольшей шириной раскрытия.

Для эксплуатируемых железобетонных конструкций сами по себе абсолютные значения скорости распространения ультразвука не могут являться критерием оценки их напряженно-деформированного состояния, поскольку отсутствует информация о первоначальных, базовых измерениях, позволяющих выполнить сравнительный анализ изменения контролируемого параметра.

В качестве такого критерия целесообразно использование отношения скоростей ультразвукового импульса в сжатой и растянутой зонах сечения наряду с определением длины нормальной трещины и контролем ширины ее раскрытия.

Предварительно можно рассматривать фиксацию по результатам ультразвукового контроля резкого роста величины L_{crc}/h_0 при ее значении более 0,35...0,5 h_0 как сигнал о переходе балок к ограниченно-работоспособному, а более 0,5 h_0 к недопустимому и даже аварийному состоянию [22].

Предложенная методика анализа напряженно-деформированного состояния балок с использованием ультразвукового контроля в сжатой и растянутой зонах может быть использована при обследовании и мониторинге эксплуатируемых железобетонных конструкций и в научно-исследовательских целях при стендовых испытаниях экспериментальных железобетонных конструкций.

Библиографический список:

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений №384-ФЗ.
2. ГОСТ 31937-2024 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.
4. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции.
5. Уткин, В. С. Расчет надежности железобетонной балки на стадии эксплуатации по критерию длины трещины в бетоне / В.С. Уткин, С.А. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2016. – № 1. – С. 68-79.
6. Пересыпкин Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов. М.: Стройиздат, 1988. 168 с.
7. Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 1995. 192 с.
8. Капустин В.В., Чуркин А.А., Лозовский И.Н., Кувалдин А.В. Возможности сейсмоакустических и ультразвуковых методов при контроле качества свайных фундаментов//Геотехника. 2018. Т.10. № 5-6. С.62-71.
9. ГОСТ Р 72171-2025. Национальный стандарт Российской Федерации. Сваи. Сейсмоакустические методы контроля сплошности бетона и длины свай.
10. Лозовский И.Н., Чуркин А.А. Контроль сплошности буронабивных свай методом межскважинной ультразвуковой томографии // Транспортное строительство. 2018. № 7.
11. Тучков, В.А. Определение прочности бетона свай опоры моста на основе результатов ультразвуковой дефектоскопии / В.А. Тучков, В.С. Федорова // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2024. – № 1. – С. 198-203.
12. Лозовский, И.Н. Численное моделирование ультразвукового контроля сплошности свай / И.Н. Лозовский, Р.А. Жостков, А.А. Чуркин // Дефектоскопия. – 2020. – № 1. – С. 3-13. – DOI 10.31857/S0130308220010017.
13. ASTM D6760-16. Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing. West Conshohocken, USA: ASTM International, 2016. P. 8. DOI: 10.1520/D6760-16.
14. Moran M., Brettman T., Hertlein B., Meyer M., Whitmire B. Deep Foundations Institute. guideline for interpretation of nondestructive integrity testing of augered cast-in-place and drilled displacement piles. New Jersey, USA: DFI, 2012. P. 39.
15. Мухин А.А., Лозовский И.Н., Чуркин А.А. СТО ЭГЕОС 1-1.1-001-2018. Применение неразрушающего контроля сплошности свай ультразвуковым методом. М., 2018. 22 с.
16. Жостков Р.А. Программа для моделирования ультразвуковой дефектоскопии буронабивных свай / Номер гос. регистрации программы для ЭВМ 2018665157. Дата регистрации 14.11.2018. Бюл. 12.
17. Несветаев, Г.В. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций / Г.В. Несветаев, А.В. Коллеганов, Н.А. Коллеганов // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 2.
18. ГОСТ 17624-2021 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
19. Маилян, Д.Р. Особенности напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных балок с бетоном каркасной структуры в сжатой зоне / Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев, Н.А. Коллеганов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7(103).
20. Маилян, Д.Р. Определение жесткости и кривизны двухслойных железобетонных балок с бетоном каркасной структуры в сжатой зоне / Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев, Н.А. Коллеганов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3(99).
21. МИ 11-87. Методические указания. ГСИ. Прочностные и деформационные характеристики бетонов при одноосном кратковременном статическом сжатии и растяжении. Методика выполнения измерений. М.: Издательство стандартов, 1989. 89 с.
22. Методическое пособие по назначению срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл. - - М.: Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве, 2019. – 122с.

References:

1. Technical Regulations on the safety of buildings and structures" No. 384-FZ.
2. GOST 31937-2024 Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition.
3. SP 20.13330.2016 Loads and impacts.
4. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures.
5. Utkin V.S., Soloviev S.A. Calculation of reliability of reinforced concrete beams at the stage of operation according to the criterion of crack length in concrete. *Bulletin of MGSU*. 2016.;1: 68-79.
6. Peresypkin E.N. Calculation of core reinforced concrete elements. M. N.: Stroyizdat, 1988:168 p.
7. Bedova, I.N., Saprykin, V.F. Inspection and reconstruction of reinforced concrete and stone structures of operated buildings and structures. Moscow: Publishing House of the DIA, 1995:192 p.
8. Kapustina, V.V., Churkin, A.A., Lozovsky I.N., Kuvaldin A.V. Possibilities of seismoacoustic and ultrasonic methods in quality control of pile foundations. *Geotechnics*. 2018;10(5-6):62-71.

9. GOST R 72171-2025. The national standard of the Russian Federation. Piles. Seismoacoustic methods for monitoring concrete continuity and pile length
10. Lozovskiy, I.N., Churkin, A.A. Continuity control of borehole piles by downhole ultrasound tomography *Transport construction*. 2018:.
11. Tuchkov, V.A. Determination of concrete strength of pile bridge supports based on the results of ultrasonic flaw detection . V.A. Tuchkov, V.S. Fedorova. *Far East: problems of development of the architectural and construction complex*. 2024; 1:198-203.
12. Lozovsky, I.N. Numerical modeling of ultrasonic pile continuity control / I.N. Lozovsky, R.A. Zhostkov, A.A. Churkin. *Defectoscopy*. 2020;1:I. 3-13. – DOI 10.31857/S0130308220010017.
13. ASTM D6760-16. Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic cross-hole testing. West Conshohocken, USA: ASTM International, 2016; 8. DOI: 10.1520/D6760-16.
14. Moran M., Brettmann T., Hertlein B., Meyer M., Whitmire B. Deep Foundations Institute. guideline for interpretation of nondestructive integrity testing of augered cast-in-place and drilled displacement piles. New Jersey, USA: DFI, 2012: 39.
15. Mukhin A.A., Lozovsky I.N., Churkin A.A. STO AEGEOS 1-1.1-001-2018. Application of non-destructive testing of pile continuity by ultrasonic method. Moscow, 2018:22 p.
16. Zhostkov R.A. A program for modeling ultrasonic flaw detection of bored piles / State registration number of the computer program 2018665157. Registration date 11/14/2018. Byul. 12.
17. Nesvetaev G.V., A.V. Kolleganov, N.A. Kolleganov. Features of non-destructive testing of concrete strength of operated reinforced concrete structures. *Online journal of Science Studies*. 2017; 9(2).
18. GOST 17624-2021 Concrete. Ultrasonic strength determination method.
19. Mailyan, D.R. Features of the stress-strain state of normal sections of reinforced concrete beams with concrete frame structure in a compressed zone. D.R. Mailyan, G.V. Nesvetaev, N.A. Kolleganov. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023;7(103).
20. Mailyan, D.R. Determination of rigidity and curvature of double-layered reinforced concrete beams with concrete frame structure in a compressed zone. D.R. Mailyan, G.V. Nesvetaev, N.A. Kolleganov. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023;№ 3(99).
21. MI 11-87. Methodological guidelines. GSI. Strength and deformation characteristics of concrete under uniaxial short-term static compression and stretching. Measurement methodology. Moscow: Publishing House of Standards, 1989:89 p.
22. Methodological guide on the purpose of the service life of concrete and reinforced concrete structures, taking into account the impact of the operating environment on their life cycle. Moscow: Federal Center for Standardization, Standardization and Technical Conformity Assessment in Construction, 2019:122 p.

Сведения об авторах:

Несветаев Григорий Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология строительного производства»; nesgrin@yandex.ru

Коллеганов Алексей Вячеславович, кандидат технических наук, директор; alekskoll@mail.ru

Коллеганов Никита Алексеевич, кандидат технических наук, инженер-конструктор; nikita.kolleganov@mail.ru

Ивлев Андрей Николаевич, магистрант, инженер-конструктор; iv.andrey.stav26@yandex.ru

Омаров Абдула Магомедович, преподаватель кафедры «Технология и организация строительного производства»; omarov_abdula@mail.ru

Information about the authors:

Grigory V. Nesvetaev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Construction Production Technology; nesgrin@yandex.ru

Alexey V. Kolleganov, Cand. Sci. (Eng.), Director; alekskoll@mail.ru

Nikita A. Kolleganov, Cand. Sci. (Eng.), Engineer-constructor; nikita.kolleganov@mail.ru

Andrey N. Ivlev, Master's student, Engineer-constructor; iv.andrey.stav26@yandex.ru

Abdul M. Omarov, Lecturer, Department of Technology and Organization of Construction Production; omarov_abdula@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 20.11.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 21.12.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 15.01.2026.