

## Методика натурных испытаний железобетонной балки в составе ребристого монолитного перекрытия

*О.В. Смирнова<sup>1</sup>, К.В. Авдеев<sup>2</sup>, В.В. Бобров<sup>2,3</sup>, Н.А. Полянский<sup>1,2</sup>,  
Г.А. Марковник<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Российский университет транспорта, Москва*

<sup>2</sup>*Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений, Москва*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва*

**Аннотация:** В соответствии с требованиями Федерального закона №384-ФЗ должна быть обеспечена безопасность и надежность зданий и сооружений. Одним из способов подтверждения безопасности и надежности строительных конструкций является проведение натурных испытаний. Авторами данной статьи был разработан метод натурального испытания железобетонной балки пролетом 14,52м в составе монолитного железобетонного ребристого перекрытия. Был составлен порядок работы испытания балки с разработкой мероприятий по обеспечению безопасности при проведении работ, выполнена корректировка методики испытания балки методом нагружения, проведено испытание балки методом нагружения с фиксацией её прогибов с последующим анализом результатов испытания. Результаты испытаний показали, что разработанный метод может быть использован в качестве натурального испытания для подтверждения безопасности и надежности строительных конструкций, а именно - горизонтальных железобетонных конструкций.

**Ключевые слова:** строительные конструкции, балка, разрушение, безопасность, методика, техническое состояние, натурные испытания.

### Введение

Обеспечение безопасности зданий и сооружений является важной задачей строительной отрасли. Федеральный закон от 30.12.2009 №384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" устанавливает минимально необходимые требования к зданиям и сооружениям, включая требования механической безопасности. В течение всего срока службы здания и сооружения должны обладать достаточной надежностью. Тем не менее, анализ статистических данных об авариях зданий и сооружений во всем мире, показывает, что их количество достаточно велико.

Опыт расследования причин аварий зданий и сооружений показывает, что они являются следствием нарушения требований нормативных документов при проектировании, производстве строительного-монтажных работ, изготовлении строительных материалов, конструкций и изделий, несоблюдения правил эксплуатации зданий и сооружений.

Анализ опубликованных данных [1] показывает, что одной из причин приостановки строительства зданий и сооружений является угроза их обрушения.

С учетом вышеизложенного, задача обеспечения безопасности и надежности зданий на протяжении всего жизненного цикла представляется весьма актуальной.

Одним из способов подтверждения безопасности и надежности строительных конструкций является проведение натурных испытаний. Авторами статьи был разработан метод натурального испытания железобетонной балки пролетом 14,52м в составе монолитного железобетонного ребристого перекрытия.

В рамках разработанного метода были проведены следующие работы:

- составлена методика испытания балки с разработкой мероприятий по обеспечению безопасности при проведении работ;
- выполнена корректировка методики испытания балки методом нагружения;
- проведено испытание балки методом нагружения с фиксацией её прогибов с последующим анализом результатов испытания [2];
- выполнено визуальное и инструментальное обследование конструкции до нагружения и после с выявлением дефектов и повреждений с необходимыми замерами и фотофиксацией;

– сформирован вывод о техническом состоянии конструкции и возможности ее дальнейшей безопасной эксплуатации на основе разработанного метода.

Уровень ответственности здания – II нормальный (в соответствии с ФЗ от 30 декабря 2009г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»). Коэффициент надежности по ответственности для расчёта строительных конструкций - 1,0. Класс сооружения КС-2.

### Описание конструкции

Испытываемая балка входит в состав монолитного железобетонного ребристого перекрытия (см. рис. 1). Данное перекрытие состоит из монолитной ж/б плиты толщиной 260 мм и выполненных в общей опалубке совместно с ней монолитными ж/б балками прямоугольного сечения с размерами 250×590мм, расположенными с шагом 1,5 м и пролетом 14,52 м. При бетонировании перекрытия применялся бетон класса В30 по прочности на сжатие по ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия». При армировании балок и плиты перекрытия применялась арматура класса А500С и А240 по ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия».

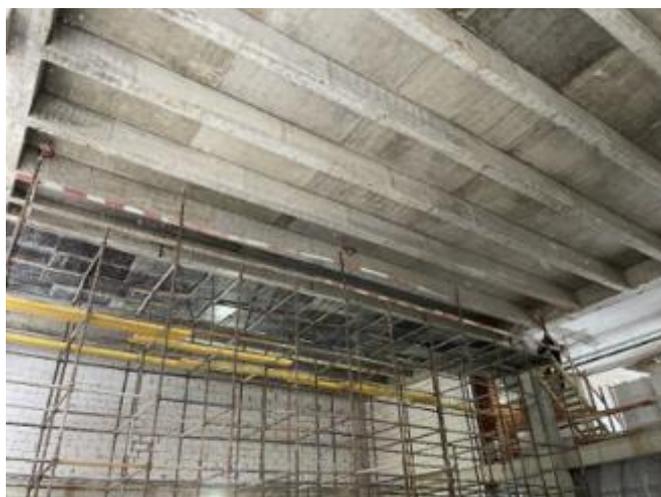


Рис. 1. – Общий вид на балку №11.

Для проверки метода выбрана балка №11 в центральной части перекрытия с максимальным значением изгибающего момента  $11300 \text{ кгс} \cdot \text{м}$  в середине пролета от равномерно распределенной нагрузки  $700 \text{ кгс/м}^2$  (см. рис. 2) [3]. Для компенсации прогиба в середине пролета от эксплуатационных нагрузок при проведении монолитных работ конструкции перекрытия придан строительный подъем (контр-прогиб) на величину  $50 \text{ мм}$  [4].



Рис. 2. – Армирование балки и плиты перекрытия

### Метод проведения натурного испытания

Метод натурного испытания балки путем нагружения разработан в соответствии с ГОСТ 8829-2018 «Изделия строительные ж/б и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

Цель метода – определение расчетного перемещения (прогиба) и фактически измеренного в центре пролета и в приопорных зонах для испытываемой балки для каждого этапа нагружения. В процессе испытания разработаны схемы испытания, назначены виды, веса и места установки грузов [5].

Порядок работы:

1. Выбор балки с максимальным изгибающим моментом в середине пролета и с максимальным расчетным прогибом (см. рис. 3 и Таблицу 1).

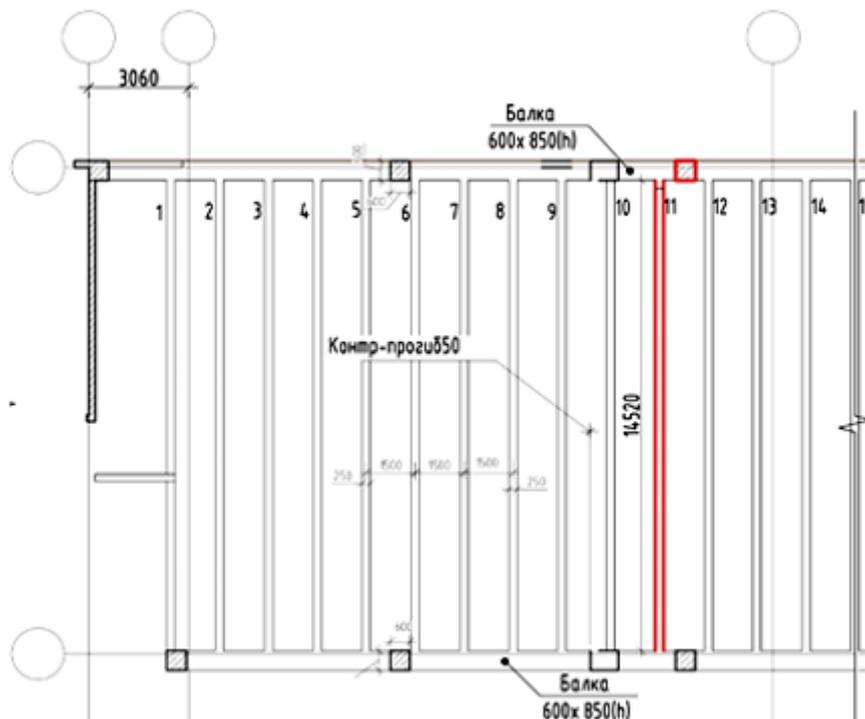


Рис. 3. – Фрагмент плана перекрытия с испытуемой балкой

Таблица 1. Исходные данные

Этапы нагружения	Заполн. каждой ёмкости, л	Нагрузка, кгс	Расчетное перемещение, мм			Изгибающий момент, кгс*м	Фактическое перемещение, мм		
			Опора (№1)	Пролет (№2)	Опора (№3)		Опора (№1)	Пролет (№2)	Опора (№3)
От собств. веса	0	0	21,7	35	16,1	9000	*	*	*
1	125	250	21,8	35,8	16,3	9380	*	*	*
2	250	500	22	36,4	16,4	9660	*	*	*
3	500	1000	22,2	37,7	16,6	10200	*	*	*
4	750	1500	22,5	38,9	16,8	10800	*	*	*
5	1000	2000	22,9	40,2	17	11300	*	*	*

\* – заполняется по результатам проведения испытаний

2. В соответствии с п. 8.1 ГОСТ 8829, испытание выполняется при положительной температуре воздуха в помещении. Положительную температуру воздуха в помещениях на период проведения возможно обеспечить дизельными тепловыми пушками [6].

3. Перед проведением испытания были выполняются по визуальному и инструментальному обследованию балки. Все повреждения и дефекты фиксируются и заносятся в соответствующую ведомость.

Ширина раскрытия трещин измерять с помощью микроскопа отчетного типа МПБ-2 с ценой деления шкалы 0,05мм. [7].

4. Для фиксации прогибов балки использовать электронный тахеометр с точностью измерений 2' ( $\pm 2$ мм). На нижнюю грань балки предварительно наклеиваются пленочные светоотражающие геодезические марки на расстоянии 0,3 м от приопорной зоны и по центру балки (см. рис. 4).

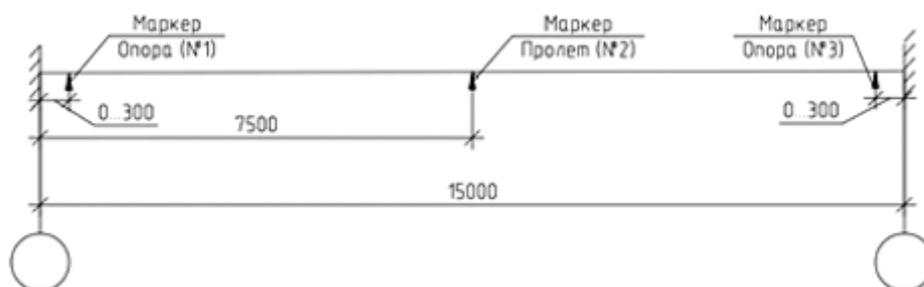


Рис. 4. – Схема расположения геодезических маркеров на балке

5. По схеме испытания испытываемая балка рассматривается как однопролетная с жестким закреплением с двух сторон.

Нагружение балки производится размещением по верху её плиты специальных ёмкостей для воды - пластиковых контейнеров ИВС “Еврокуб” объемом 1000 л (1тс). Каждый контейнер (всего 28 штук) с мерной шкалой, заливной горловиной и сливным краном снизу размещается на поддонах. Ёмкости устанавливаются попарно вплотную друг к другу вдоль балки на

всю её длину с шагом 1,0 м, в соответствии со схемой, представленной на рис. 5.

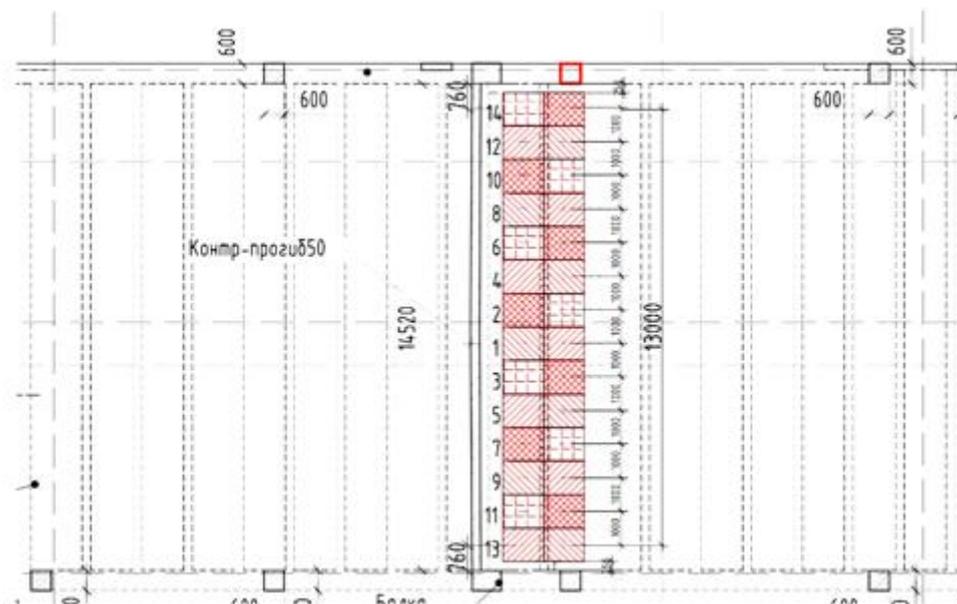


Рис. 5. – Схема расположения «Еврокубов» для нагружения

Схема расположения нагрузок от контейнеров с водой представлена на рис. 6.

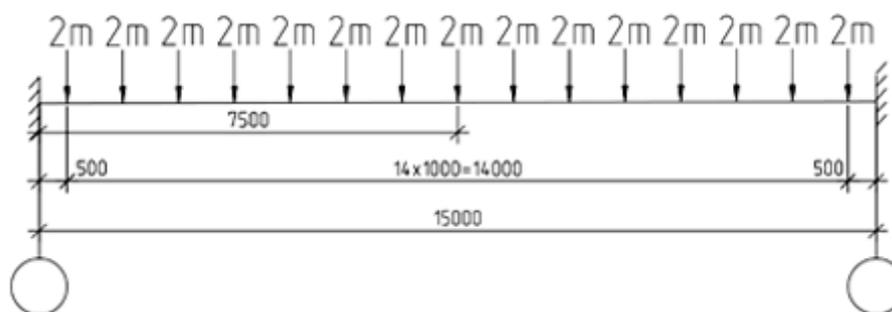


Рис. 6. – Схема нагружения балки

Заполнение ёмкостей водой производится в шахматном порядке от середины пролета к опорным участкам. Время заполнения контейнеров водой каждого этапа составляет от 1,5 до 2,0 часов (см. рис. 7).



Рис. 7. – Емкости с водой «Еврокуб» на 1000л для создания нагрузки на испытываемую балку ребристого перекрытия

С помощью мерной шкалы на контейнерах контролируется наполнение их водой. Наполнение контейнеров водой проводится в пять этапов в соответствии (см. п.7).

6. Перед началом испытания тахеометром фиксируются начальные положения контрольных точек по геодезическим маркам.

7. Заполнение ёмкостей водой производится в следующем порядке:

- первый этап загрузки – каждая ёмкость заполняется на  $0,125 \text{ м}^3$ ;
- на втором этапе – на  $0,25 \text{ м}^3$ ;
- на третьем этапе – на  $0,5 \text{ м}^3$ ;
- на четвертом этапе – на  $0,75 \text{ м}^3$ ;
- на пятом этапе – на  $1,0 \text{ м}^3$ .

8. После приложения нагрузки по каждому этапу фиксируются показания прогибов балки тахеометром и обеспечивается выдержка конструкции под нагрузкой в течении 30 минут. В течение этого периода

проводится визуальное и инструментальное обследование балки с фиксацией возможного появления новых трещин и увеличения ширины их раскрытия.

9. По истечении 30 минут необходимо фиксировать повторные показания прогибов балки, после чего начинается следующий этап загрузки.

10. Результаты фиксации фактических прогибов на каждом этапе загрузки фиксируются в табличной форме (см. Таблицу 2).

11. Результаты визуального и инструментального обследования балки с фиксацией появившихся трещин после каждого загрузки вносятся в ведомость. Ширину раскрытия трещин следует измерять с помощью микроскопа отчётного типа МПБ-2 с ценой деления шкалы 0,05мм.

### Результаты испытания

Испытание балки проводится в течение 9,5 часов. Результаты испытания балки по всем этапам загрузок представлены в Таблице 2.

Перемещение балки в контрольных точках на 1мм было зафиксировано только после третьего этапа загрузки нагрузкой 0,5 м<sup>3</sup>.

После четвертого этапа загрузки с нагрузкой 0,75м<sup>3</sup> результат по прогибам перемещение балки в контрольных точках не изменился.

После пятого этапа загрузки с нагрузкой 1,0 м<sup>3</sup> зафиксировано перемещение контрольной точки в середине пролета на 2мм.

Таблица 2. Регистрация прогибов балки.

Время снятия отсчета	Этапы нагружения	Расчетный прогиб (мм)			Измеренный прогиб (мм)		
		$\frac{\text{Полное значение } f}{\text{(Относительное } \Delta f)}$			$\frac{\text{Полное значение } f}{\text{(Относительное } \Delta f)}$		
		Опора №1	Пролет №2	Опора №3	Опора №1	Пролет №2	Опора №3
11-00	Начальный этап без нагрузки, (действие собственного веса)	21,7	35	16,1	12441	12464	12460
12-30	1 этап с нагрузкой 0,125	21,8 (0,1)	35,8 (0,8)	16,3 (0,2)	12441 (0)	12464 (0)	12460 (0)
13-00	1 этап после обследования с				12441 (0)	12464 (0)	12460 (0)

Время снятия отсчета	Этапы нагружения	Расчетный прогиб (мм)			Измеренный прогиб (мм)		
		$\frac{\text{Полное значение } f}{\text{(Относительное } \Delta f)}$			$\frac{\text{Полное значение } f}{\text{(Относительное } \Delta f)}$		
		Опора №1	Пролет №2	Опора №3	Опора №1	Пролет №2	Опора №3
	нагрузкой 0,125						
14-15	2 этап с нагрузкой 0,250	22,0 (0,3)	36,4 (1,4)	16,4 (0,3)	12441 (0)	12464 (0)	12460 (0)
14-45	2 этап после обследования с нагрузкой 0,250				12441 (0)	12464 (0)	12460 (0)
16-35	3 этап с нагрузкой 0,500	22,2 (0,5)	37,7 (2,7)	16,6 (0,5)	12440 (1)	12463 (1)	12459 (1)
17-05	3 этап после обследования с нагрузкой 0,500				12440 (1)	12463 (1)	12459 (1)
19-00	4 этап с нагрузкой 0,750	25,5 (0,8)	38,9 (3,9)	16,8 (0,7)	12441 (1)	12463 (1)	12460 (1)
19-30	4 этап после обследования с нагрузкой 0,750				12440 (1)	12463 (1)	12459 (1)
21-30	5 этап с нагрузкой 1,0	22,9 (1,2)	40,2 (5,2)	17 (0,9)	12440 (1)	12462 (2)	12460 (1)
22-00	5 этап после обследования с нагрузкой 1,0				12440 (1)	12462 (2)	12460 (1)

Относительный прогиб балки в середине пролета по результатам испытания составил 1 мм, что меньше относительного расчетного прогиба 4мм. В соответствии с СП 20.13330.2016 п.15.2.3, вертикальный предельный прогиб для балки, исходя из эстетико-психологических требований, определяется из выражения:

$$f_u = l / 255$$

где значение 255 определяется по линейной интерполяции для  $l = 15\text{м}$  между  $l = 6,0\text{м}$  и  $l = 24,0\text{м}$ . Для балки пролетом 15,0м предельный прогиб составляет  $f_u = 66,0\text{мм}$ .

До начала проведения испытания визуальным и инструментальным обследованием балки установлено наличие на боковых и нижней гранях

волосных трещин с шириной раскрытия 0,1мм и глубиной 24÷27мм. В средней части балки были зафиксированы отдельные трещины с шириной раскрытия 0,2мм. и 0,3мм. Количество трещин и ширина их раскрытия балки после каждого этапа оставались неизменными.

Фиксация трещин с шириной раскрытия и привязками по результатам обследования представлена на рис. 9 и в Таблицах 3-5.

Таблица 3

№ трещины	Левая грань балки в осях П-Л	Ширина трещины (мм)	Глубина трещины (мм)	Характер трещины
	Участок расположения			
1-5	Н1-Н	0,1	24÷27	Волосяные усадочные
6	Н1-Н	0,2		Мелкие усадочные
7-10	Н1-Н	0,1		Волосяные усадочные
11-15	Н	0,2		Мелкие усадочные
16-17	М	0,1		Волосяные усадочные
18-20	М-Л	0,2		Мелкие усадочные
21-22	М-Л	0,1		Волосяные усадочные

Таблица 4

№ трещины	Правая грань балки в осях Л-П	Ширина трещины (мм)	Глубина трещины (мм)	Характер трещины
	Участок расположения			
1-7	Л-М	0,1	24÷27	Волосяные усадочные
8	Л-М	0,2		Мелкие усадочные
9-12	Л-М	0,1		Волосяные усадочные
13, 15	Л-М	0,2		Мелкие усадочные
14, 16, 18, 20	М-Н	0,1		Волосяные усадочные
17, 19, 21	М-Н	0,3		Мелкие усадочные
22, 25-27, 29, 31, 32, 34, 36-39	Н-Н1	0,1		Волосяные усадочные
23, 24, 28, 35	Н-Н1	0,3	26÷28	Мелкие усадочные
30, 33	Н-Н1	0,2	25÷28	Мелкие усадочные



Таблица 5

№ трещины	Нижняя грань балки в осях Л-П	Ширина трещины (мм)	Глубина трещины (мм)	Характер трещины
	Участок расположения			
14	М-Н	0,1	24÷27	Волосяные усадочные
15-20	Н-Н1	0,1		Волосяные усадочные

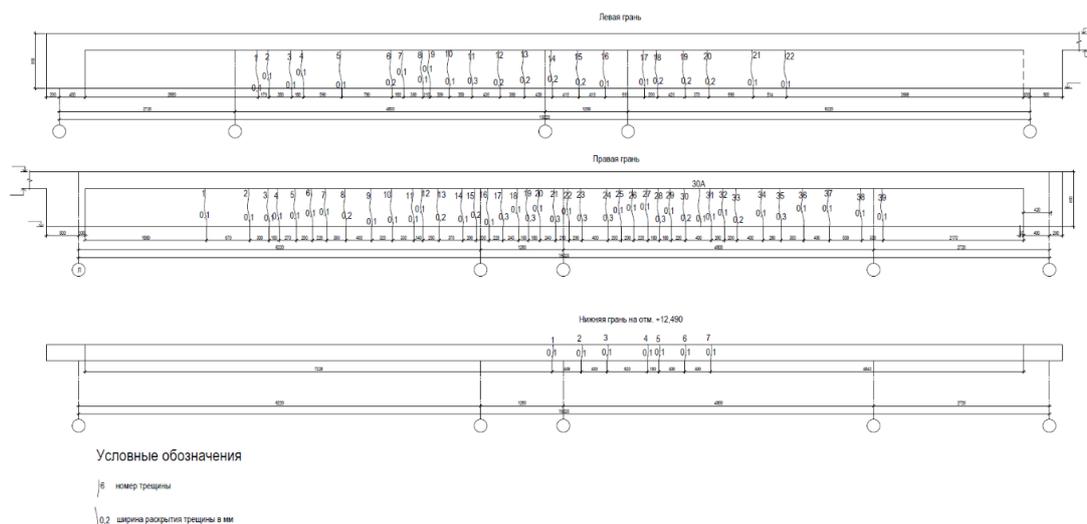


Рис. 9. – Фиксация и ширина раскрытия трещин на испытываемой балке

В соответствии с требованиями СП 63.13330.2018, значения предельно допустимой ширины раскрытия трещин принимают равным, исходя:

а) из условия обеспечения сохранности арматуры классов А240...А600: 0,3мм (при продолжительном раскрытии трещин); 0,4мм (при непродолжительном раскрытии трещин);

б) из условия ограничения проницаемости конструкций: 0,2мм (при продолжительном раскрытии трещин); 0,3мм (при непродолжительном раскрытии трещин).

К конструкции перекрытия не предъявляются требования по ограничению проницаемости. Ребристая плита с внешней стороны покрытия защищена слоем гидроизоляции. Ввиду вышеизложенного, зафиксированные

при испытании балки трещины можно классифицировать как находящиеся в пределах допуска [9, 10].

### **Выводы и заключение**

По результатам проведенных испытаний монолитной балки для проверки разработанного метода натурального испытания сделаны следующие выводы:

1. Относительный прогиб балки в середине пролета составил 1 мм, что меньше относительного расчетного прогиба 4мм и не превышает значение предельного прогиба, установленного п.15.2.3. СП 20.13330.2016;

2. Зафиксированные трещины в соответствии с СП 63.13330.2018 можно классифицировать как находящиеся в пределах допуска;

3. Ребристое перекрытие на воздействие распределенной эксплуатационной нагрузки  $700 \text{ кгс/м}^2$  обладает требуемой несущей способностью, жесткостью и трещиностойкостью и пригодно к дальнейшей безопасной эксплуатации.

4. Разработанный метод может быть использован в качестве натурального испытаний для подтверждения безопасности и надежности строительных конструкций, а именно - горизонтальных железобетонных конструкций.

### **Литература**

1. Нежникова Е.В. Причины возникновения аварий и направления решения проблемы качества и безопасности в строительстве // Сметно-договорная работа в строительстве. 2015. №3. URL: [panor.ru/articles/prichiny-vozniknoveniya-avariy-i-napravleniya-resheniya-problemy-kachestva-i-bezopasnosti-v-stroitelstve/90671.html?ysclid=lvi8bw2b95535969325](http://panor.ru/articles/prichiny-vozniknoveniya-avariy-i-napravleniya-resheniya-problemy-kachestva-i-bezopasnosti-v-stroitelstve/90671.html?ysclid=lvi8bw2b95535969325).

2. Капустин Д.Е., Соному Н. Выбор оптимальной методики испытания бетонов при объемном нагружении // Инженерный вестник Дона. 2024. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8931](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8931).
3. Мамченко В.О. Расчет балок на прочность и жесткость при прямом плоском изгибе // Учебно-методическое пособие. С-П.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. 2014. С. 16-20.
4. Рекомендации по оценке прочности, жесткости и трещиностойкости опытных образцов железобетонных конструкций. // НИИЖБ Госстроя СССР, 1987. С.24
5. Ходяков В.А. Испытание строительной конструкции // Учебно-методическое пособие. Минск: БНТУ. 2019. С. 53-57.
6. Nquyen T.T., Tan K.H., Burgess I.W. Behaviour of composite slab-beam systems elevated temperatures: Experimental and numerical investigation // Engineering Structures. 2015. p. 8-10.
7. Б.Н. Мизернюка. Анализ работы железобетонных конструкций в условиях эксплуатации под ред. канд. техн. наук // НИИЖБ. 1970. С. 4-12.
8. Маилян Д.Р., Польской П.П., Михуб Ахмад. Особенности трещинообразования и разрушения усиленных железобетонных балок с различными видами арматуры и композитных материалов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677).
9. Потапов Ю.Б., Рагатнев Ю.Ф., Памфилов Д.В., Джавид М.М. Экспериментальные исследования несущей способности нормальных сечения железобетонных изгибаемых элементов с арматурой класса А600 // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2015. №2 (38). С. 26-33.

10. Ramseyer Ch., Kang T. H.-K. Post-Damage Repair of Prestressed Concrete Girders // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2012. № v.6. p. 199-207.

### References

1. Nezhnikova E.V. Smetno-dogovornaya rabota v stroitel'stve. 2015. №3. URL: panor.ru/articles/prichiny-vozniknoveniya-avariy-i-napravleniya-resheniya-problemy-kachestva-i-bezopasnosti-v-stroitel'stve/90671.html?ysclid=lvi8bw2b95535969325.
2. Kapustin D.E., Sonomu N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8931.
3. Mamchenko V.O. Raschet balok na prochnost' i zhestkost' pri pryamom ploskom izgibe [Calculation of beams for strength and stiffness in direct flat bending]: Uchebno-metodicheskoye posobiye. S-P.: NIU ITMO\$ IHiBT 2014. p. 16-20.
4. Rekomendacii po ocenke prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti opytnyh obrazcov zhelezobetonnykh konstrukcij: Moskva, NIIZhB Gosstroja SSSR, 1987. p. 24.
5. Khodyakov V.A. Ispytaniye stroitel'noy konstruktsii [Testing of a building structure]: Uchebno-metodicheskoye posobiye. Minsk: BNTU. 2019. pp. 53-57.
6. Nquyen T.T., Tan K.H., Burgess I.W. Behaviour of composite slab-beam systems elevated temperatures: Experimental and numerical investigation. Engineering Structures. 2015. pp. 8-10.
7. B.N. Mizernyuka. Analiz raboty zhelezobetonnykh konstruktsiy v usloviyakh ekspluatatsii [Analysis of the work of reinforced concrete structures in operating conditions] under the editorship of the Candidate of Technical Sciences: NIIZHB. 1970. pp. 4-12.



8. Mailyan D.R., Pol'skoy P.P., Mikhub Akhmad. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1677).

9. Potapov Ju.B., Ragatnev Ju.F., Pamfilov D.V., Dzhavid M.M. Nauchnyj vestnik Voro-nezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura, 2015. №2 (38). pp. 26-33.

10. Ramseyer Ch., Kang T. H.-K. Post-Damage Repair of Prestressed Concrete Girders: International Journal of Concrete Structures and Materials. 2012. № v.6. pp. 199-207.

**Дата поступления: 2.04.2024**

**Дата публикации: 27.05.2024**