

Экспериментальное определение несущей способности железобетонной плиты перекрытия

А.В. Масалов ¹ ✉, Ю.Б. Филатов ²

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва 129337, Российская Федерация

✉ e-mail: masalow.al@ya.ru

Резюме

Цель исследования. Экспериментальное определение и анализ несущей способности, деформативности и трещиностойкости железобетонной плиты перекрытия, опёртой по трём сторонам. На основании результатов испытаний оценить уровень адекватности расчётной модели плиты.

Методы. Подготовлена методика испытания серийного образца железобетонной плиты перекрытия многоэтажного здания на основании действующего стандарта на проведение испытаний конструкций. Плита опёрта на испытательном стенде по трём сторонам (перекрытие лоджии) контролируемой нагрузкой, моделирующей эксплуатационную нагрузку. Нагружение проводили штучными грузами, известного веса, перемещаемыми мостовым краном. Измерение прогибов проводили с помощью механических прогибомеров и индикаторов часового типа. Выполнены анализ и обоснование результатов испытаний.

Результаты. Плита была нагружена до уровня 325 кН или 20,1 кПа, что в 1,64 раза превысило контрольную нагрузку с коэффициентом безопасности 1,6, в 2,64 раза превысило расчётную нагрузку и в 3,08 раза нормативную. Максимальный зафиксированный прогиб при максимальной нагрузке составил 3,01 мм в долях пролёта 0,0009, что в 7,41 раза меньше допускаемого прогиба от нормативной нагрузки – 0,00667 от длины пролёта. Плита не была разрушена при испытании, раскрытия трещин не наблюдалось, прогибы не превысили допустимые. Испытания были прекращены из соображений безопасности.

Закключение. Многие строительные конструкции проектируются с большими запасами по первой и второй группам предельных состояний с использованием классических критериев. Уточнение расчётной схемы эксплуатации конструкций, оптимальный выбор конечного элемента при расчете, а также постепенное включение в своды правил методов расчета строительных конструкций на основе теории конструктивных систем с распределёнными параметрами при критических уровнях энергии, позволят разрабатывать более экономичные строительные конструкции.

Ключевые слова: железобетонная плита перекрытия; опирание по трём сторонам; испытания; контрольная нагрузка; прогибы; трещиностойкость; теория исследования конструктивных систем с распределёнными параметрами на критических уровнях энергии.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Масалов А.В., Филатов Ю.Б. Экспериментальное определение несущей способности железобетонной плиты перекрытия // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023; 27(2): 42-61. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-42-61>.

Поступила в редакцию 20.05.2023

Подписана в печать 27.06.2023

Опубликована 02.08.2023

Experimental Determination of the Bearing Capacity of a Reinforced Concrete Floor Slab

Alexander V. Masalov ¹✉, Yuri B. Filatov ²

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² National Research Moscow State Construction University
26 Yaroslavskoye rd., Moscow 129337, Russian Federation

✉ e-mail: masalov.al@ya.ru

Abstract

Purpose of research. Experimental determination and analysis of the bearing capacity, deformability and crack resistance of a reinforced concrete floor slab supported on three sides

Methods. Testing a specimen of a reinforced concrete floor slab supported on three sides (loggia floor) by a controlled load simulating the operational one. Measurement of deflections. Analysis and justification of test results

Results. The slab was loaded to a level of 325 kN or 20.1 kPa. This load exceeded the control load by a factor of 1.64 with a safety factor of 1.6, exceeded the design load by a factor of 2.64, and exceeded the standard load by a factor of 3.08. The maximum recorded deflection at maximum load was 3.01 mm in or in span fractions of 0.0009, which is 7.41 times less than the allowable deflection from the standard load - 0.00667 of the span length. The testing has been terminated for safety reasons.

Conclusion. The points that could allow the developing of more economical building structures are: refinement of the design scheme for the operation of structures, the optimal choice of a finite element in the calculation, as well as the gradual inclusion in the sets of rules of methods for calculating building structures based on the theory of structural systems with distributed parameters at critical energy levels

Keywords: reinforced concrete floor slab supported on three sides; tests; control load; deflections; crack resistance; theory of the study of structural systems with distributed parameters at critical energy levels.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Masalov A. V., Filatov Y. B. Experimental Determination of the Bearing Capacity of a Reinforced Concrete Floor Slab. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023; 27(2): 42-61 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-42-61>.

Received 20.05.2023

Accepted 27.06.2023

Published 02.08.2023

Введение

Экспериментальные исследования поведения строительных конструкций под нагрузкой остаются одним из важнейших направлений исследований на протяжении долгого времени существования строительной науки. Это обусловлено теоретическими предпосылками расчетов, основанных на гипотезах о наступлении предельного состояния, невозможности учета всего многообразия строительных конструкций и возможных воздействий на них [1-10]. Одной из причин является бурное развитие композитных конструкций, для которых пока не существует достаточно адекватных расчетных моделей [11-19], но требуются экспериментальные результаты, позволяющие их построить.

Следует заметить, что для железобетонных конструкций, несмотря на их широкое применение и повышенное внимание к ним, пока не разработаны расчетные модели для случаев плоского и трехмерного напряженного состояния. Нормативные документы (СП 63.13330, СП 16.13330, СП 64.13330) требуют проведения расчетов пластин и оболочек по одномерным (балочным) моделям расчета. Этим объясняется интерес к экспериментальным исследованиям железобетонных конструкций, таких, как балки, пластины и оболочки.

Как правило, несущая способность железобетонных конструкций и элементов оказывается выше расчетной, что является причиной применения методов оптимального проектирования конструкций.

Настоящая статья посвящена экспериментальному исследованию несущей железобетонной плиты перекрытия, серийно применяющейся в домостроении в различных регионах России.

Материалы и методы

С целью определения соответствия серийно выпускаемой плиты 17-этажного панельного жилого дома требованиям нормативно-технической документации были выполнены испытания контрольной нагрузкой по просьбе производителя.

Плита перекрытия под жилым помещением и лоджией опирается по трём сторонам. В расчётной схеме опирание принято шарнирным. Нагрузки на плиту приведены в табл.1. Габаритные размеры плиты 4480x5090x160. Армирование каркасами, сетками и отдельными стержнями, диаметром 5, 10 и 14 мм. Применяемая стержневая арматура класса А400, арматурная проволока Вр500. Проектный класс бетона В20.

Таблица 1. Нагрузки на плиту

Table 1. Plate loads

Наименование нагрузки / Load name	Нормативное значение, кПа / Standard value, kPa	Расчётное значение, кПа / Design value, kPa	Расчётное значение при испытании, C=1,3, кПа / Design value during testing, C=1.3, kPa	Расчётное значение при испытании, C=1,6, кПа / Design value during testing, C=1.6, kPa
1. Нагрузка от собственного веса плиты	4	4,4	5,7	7,04
2. Нагрузка от веса пола	1	1,3	1,7	2,08
Нагрузка временная	1,5	1,95	2,54	3,12
Всего	6,5	7,65	9,94	12,24

Проектирование плиты проводилось ведущим проектным государственным предприятием региона с использованием программного комплекса SCAD. Авторы статьи опирались на данные проекта, прошедшего государственную экспертизу.

Контрольную нагрузку в кН определяли, умножив расчётное значение нагрузки, при испытании с коэффициентом безопасности $C=1,6$, равное 12,24 кПа на расчётную площадь плиты $3,20 \times 5,06 = 16,2 \text{ м}^2$. Контрольная нагрузка составила $12,24 \times 16,2 = 198 \text{ кН}$.

Выполнены следующие виды работ: подготовка методики испытаний, разработка оснащения для проведения измерений, подготовка и проведение испытаний, составление отчёта по испытаниям, анализ результатов.

Методика была составлена с учётом требований ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жёсткости и трещиностойкости». Указанный стандарт действовал на время проведения испытаний. Методика испытаний плиты также соответствовала действующему в настоящее время ГОСТ 8829-2018.

Испытания нагружением выполняются с целью комплексной проверки обеспечения требуемых технических показателей плит перекрытия – прочности, жесткости и трещиностойкости, предусмотренных проектной документацией на эти изделия, технологическими процессами производства плит. В результате испытаний должны определяться

фактические значения разрушающих нагрузок при испытаниях изделий по прочности (первая группа предельных состояний) и фактические значения прогибов и ширины раскрытия трещин под контрольной нагрузкой при испытаниях по жесткости и трещиностойкости (вторая группа предельных состояний).

Оценка прочности, жесткости и трещиностойкости изделия осуществляется по результатам испытаний на основании сопоставления фактических значений разрушающей нагрузки, прогиба и ширины раскрытия трещин под контрольной нагрузкой с соответствующими контрольными значениями, установленными в проектной документации на изделие.

Нагружение производили штучными грузами. В качестве них использовали поддоны размером 1х1 м с 12, 24 и 36 стеновыми камнями. Масса каждого поддона со стеновыми камнями 252,

504 и 756 кг соответственно. Подачу грузов на плиту выполняли мостовым краном.

Плиту установили на испытательный стенд (рис. 1). Габаритные размеры стенда в плане 6,00х3,30, высота 1,60 м. Сечения угловых стоек и опорного пояса - 2 швеллера №14, средних стоек - 2 швеллера №12, раскосы из уголка 50х50х5.

Плиту опирали согласно рис. 2 на стенд по трём сторонам через шарнирные устройства и выравнивающий слой раствора, толщиной 25-30 мм.

Для измерения прогибов и перемещений применяли индикаторы часового типа ИЧ-10 и ИЧ-50 по ГОСТ 577—68, марки и стальную проволоку диаметром 0,6 мм. Схема установки приборов приведена на рис. 2. Прогибы и перемещения измеряли в 15 точках в четвертях и в середине пролёта в поперечном и продольном направлениях.



Рис.1. Плита нагружена до уровня 1,64 контрольной нагрузки

Fig.1. The slab is loaded to the level of 1.64 of the reference load

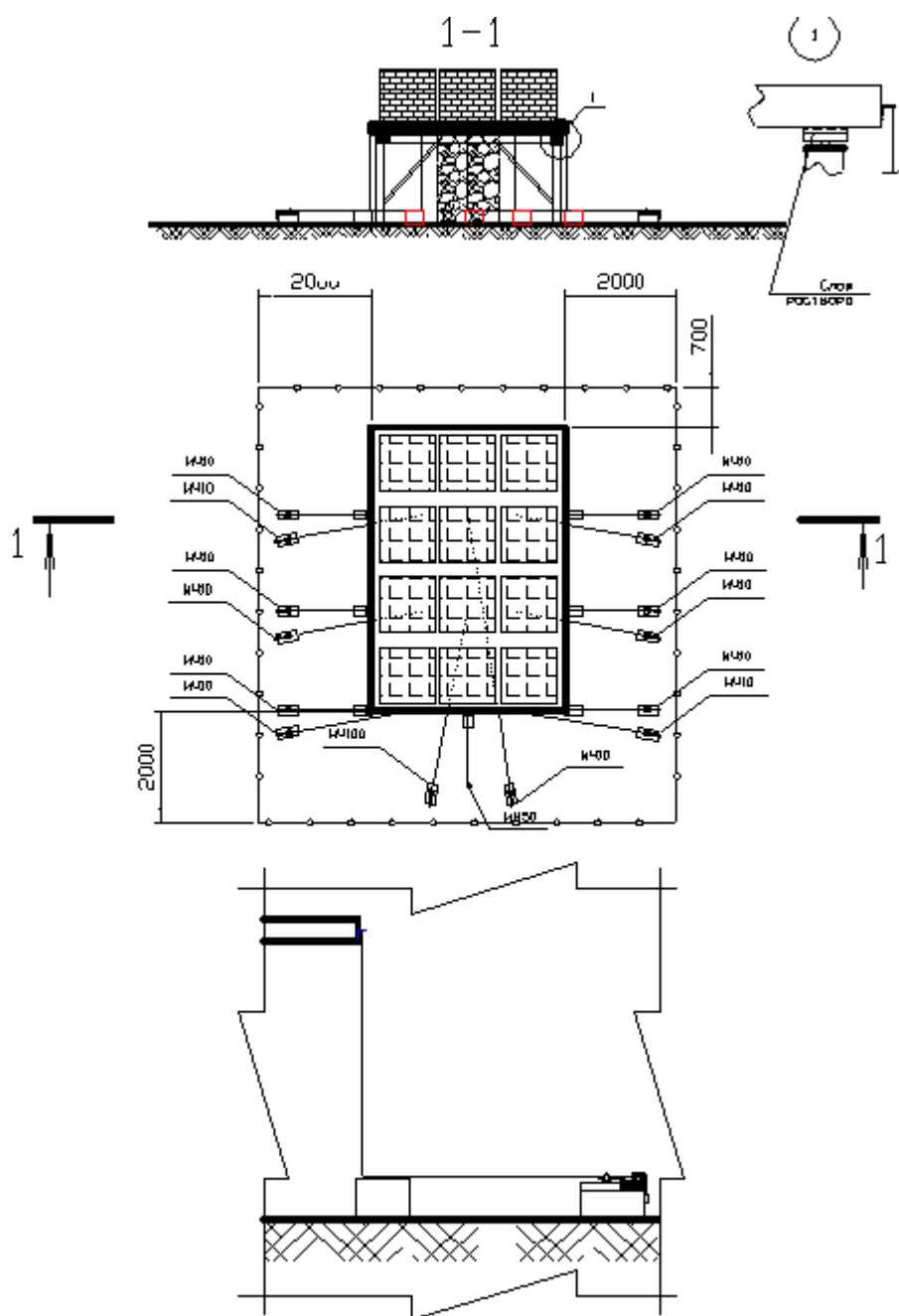


Рис. 2. Схема расстановки приборов

Fig. 2. Measuring instrument layout

Для контроля трещинообразования нижнюю поверхность плиты окрасили меловым раствором. Для фиксирования процесса раскрытия трещин использовали фотокамеру. Под плитой установили страховочные опоры согласно схеме рис. 2. Зазоры между плитой и

страховочными опорами 30-40 мм. Марки, для прикрепления стальной проволоки на поверхность плиты установили на гипсовый раствор. Нанесли разметку на плиту с использованием мелованного шнура (рис. 3), согласно которой следует устанавливать грузы.

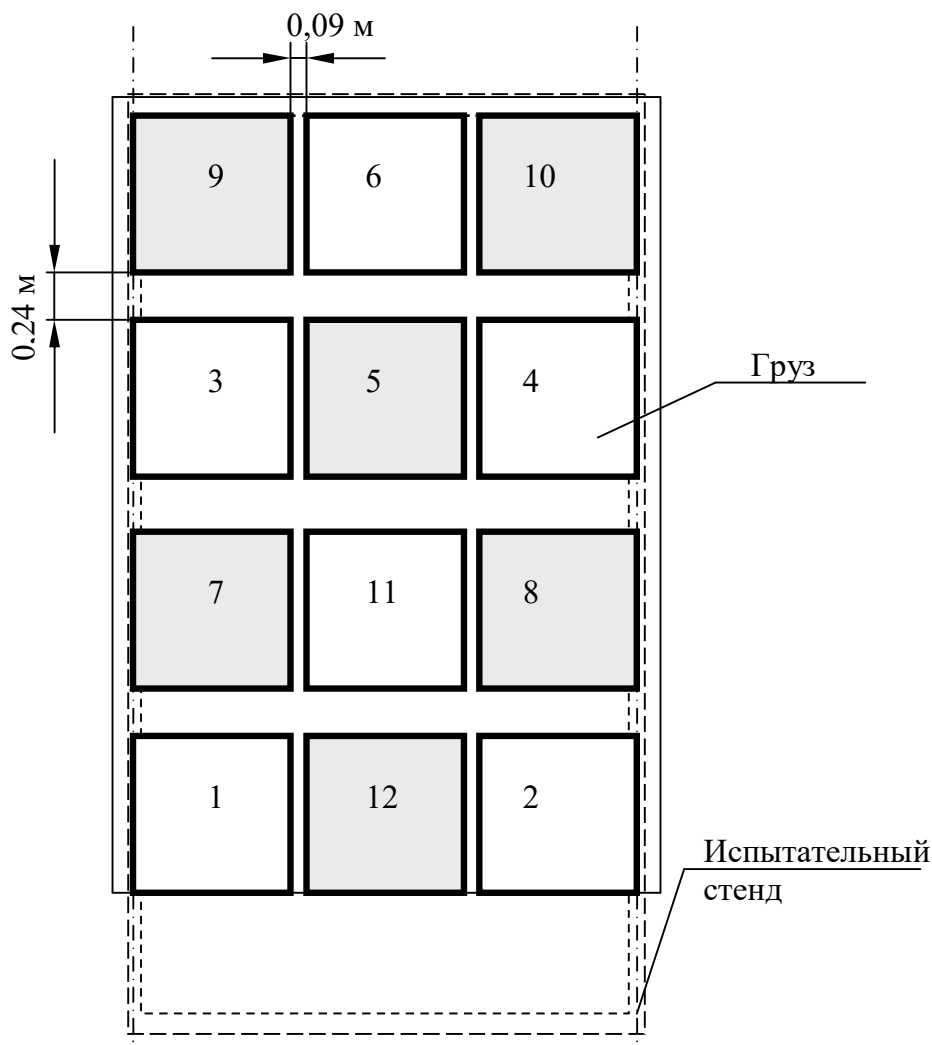


Рис. 3. Схема расстановки и последовательность укладки грузов

Fig. 3. Scheme of arrangement and sequence of load stowage

Установили первый ряд грузов, 1-6 грузы, на плиту по разметке согласно схеме рис. 3. Через 10 минут сняли показания с приборов и осмотрели нижнюю часть плиты. Установили первый ряд грузов, 7-12 грузы, на плиту по разметке согласно схеме рис. 3. Через 10 минут сняли показания с приборов и осмотрели нижнюю часть плиты. Установили второй ряд грузов и т.д.

Для проведения измерений прогибов плиты по схеме, указанной на рис. 2, бы-

ло разработано и изготовлено специальное оснащение для работы с индикаторами часового типа ИЧ-10 и ИЧ-50. Чертежи оснащения приведены на рис. 4, 5, 6.

Приборы были установлены согласно схеме проведения измерений (рис. 2). (см. также рис. 7, 8, 9). Платформы роликовых опор во избежание случайного сдвига были зафиксированы гипсовым раствором. Натяжение проволоки осуществлялось грузами массой 1 кг.

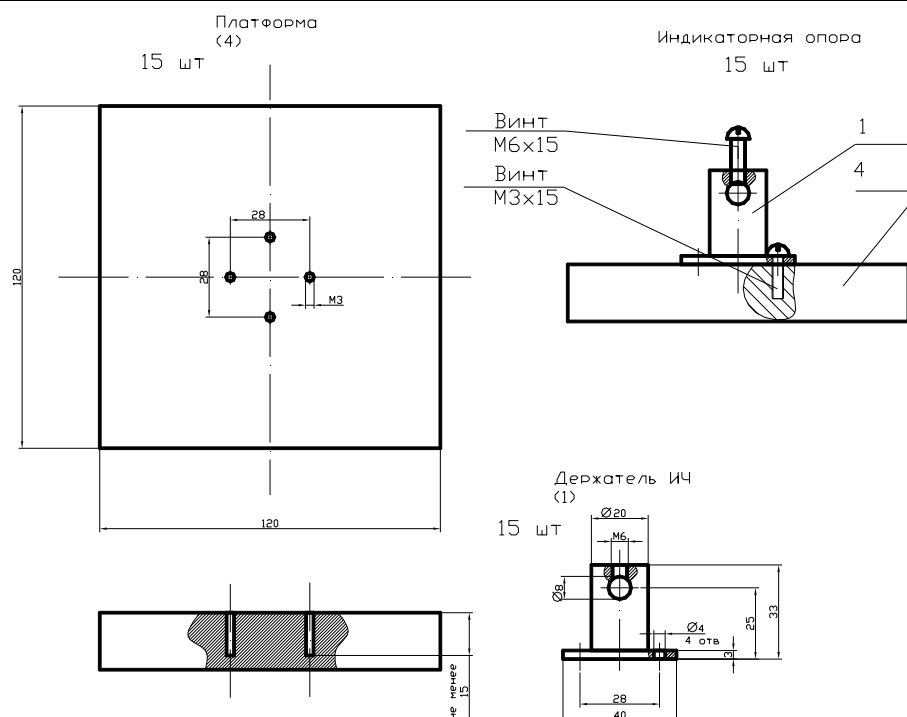


Рис. 4. Индикаторная опора. Детали индикаторной опоры

Fig. 4. Indicator support. Indicator support parts

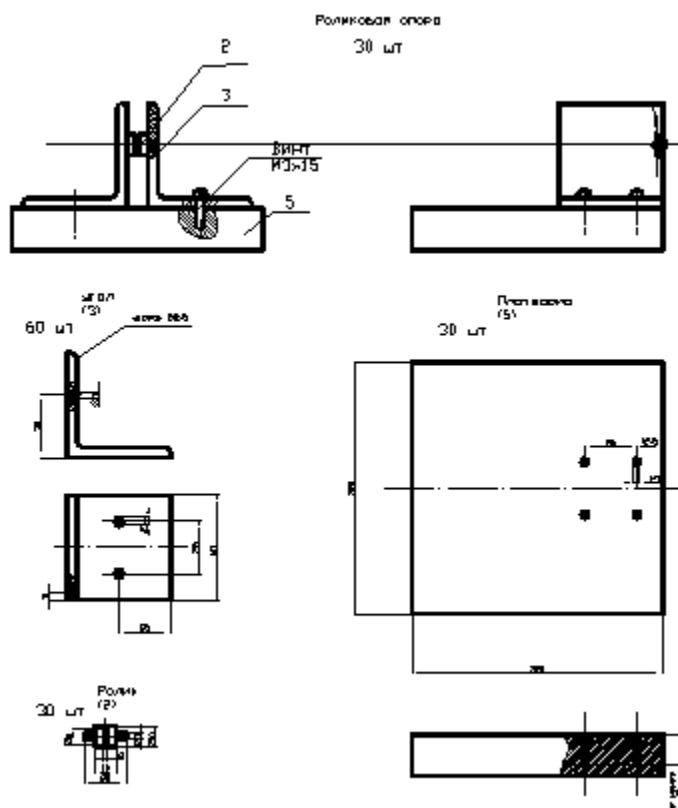


Рис. 5. Роликовая опора. Детали роликовой опоры

Fig. 5. Roller support. Roller parts

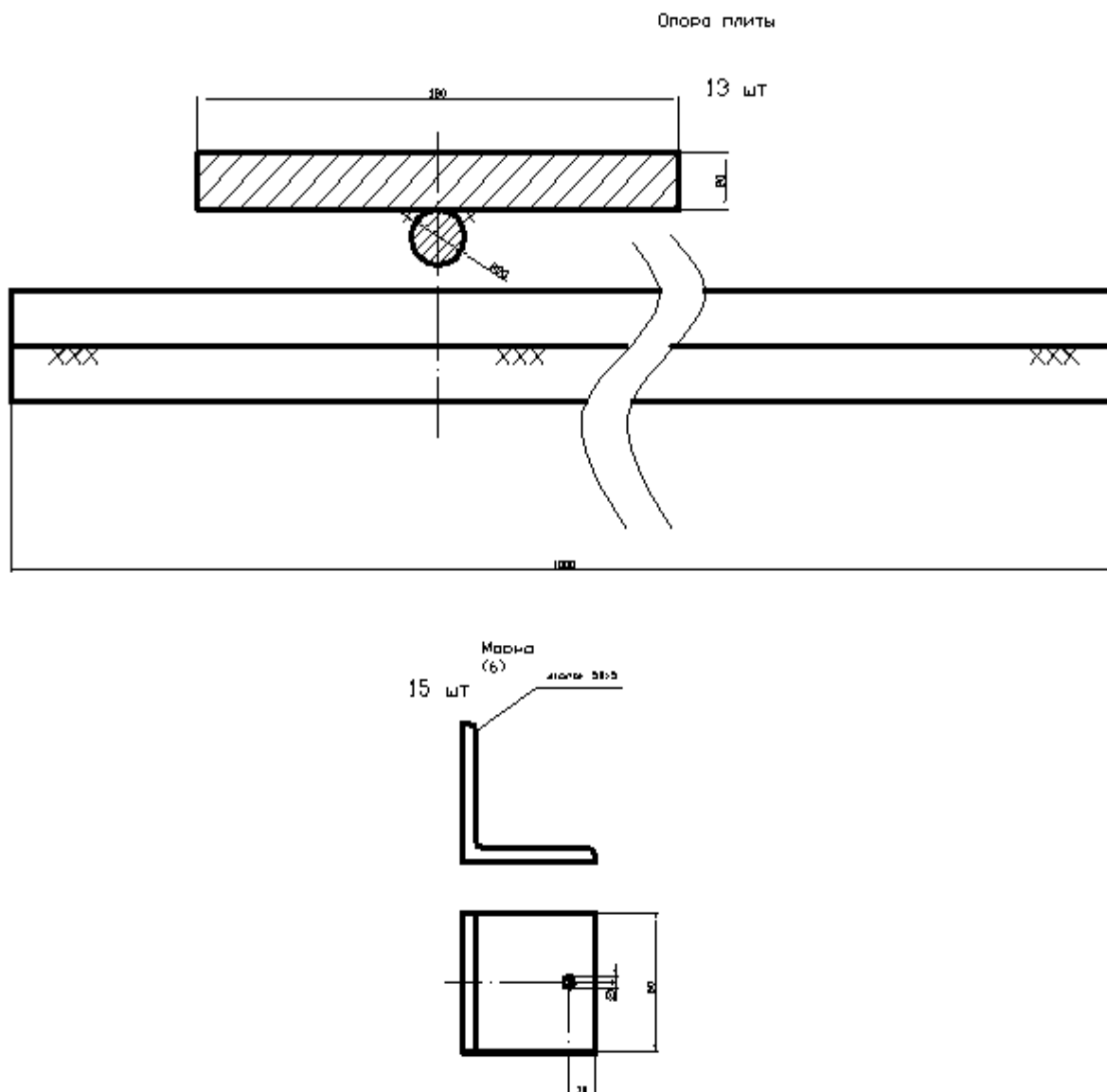


Рис. 6. Опора плиты. Марка

Fig. 6. Plate support. Mark

Ступени нагружения представлены в табл. 2.

Нумерация приборов, точек измерения и расстояния между точками измерения представлены на рис. 9.

Прогибы плиты в точках измерения определяли с учётом осадок опор по

$$\text{формуле } d = c - a - (b - a) \frac{e}{s},$$

где d – истинный прогиб в точке измерения P ;

a, b – измеренные перемещения на опорах (осадки опор);

c – измеренное перемещение точки P ;

e – размер, определяющий положение точки P ;

s – пролёт плиты (рис. 10).

Характерные результаты измерения прогибов представлены в табл. 3 и на рис. 11, 13, 14, 15, 16, 17.



а)



б)

Рис. 7. Измерительное оснащение

Fig. 7. Measuring equipment

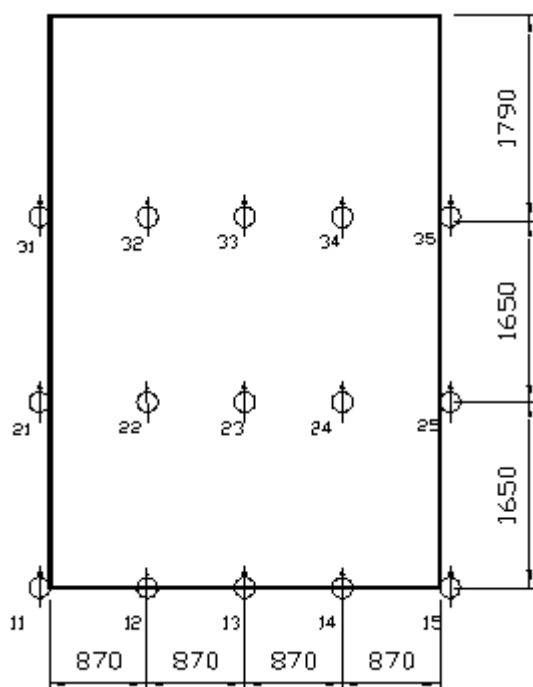


Рис. 8. Марки

Fig. 8. Marks

Таблица 2. Ступени нагружения**Table 2.** Loading stages

Номер ступени нагружения / Number of loading stage	Грузы, количество поддонов х количество рядов стеновых камней на поддоне / Loads, number of pallets х number of rows of wall stones on the pallet	Общая нагрузка, кН / Total load, kN	Доля от контрольной нагрузки / Fraction of the control load
0	Собственный вес плиты	70,85	0,36
1	6 х 2	101,09	0,51
2	6 х 2	131,33	0,67
3	6 х 1	146,47	0,75
4	6 х 1	161,59	0,82
5	6 х 3	201,95	1,02
6	6 х 3	242,31	1,22
7	7,5 х 3	324,21	1,64

**Рис. 9.** Нумерация приборов, точек измерения и расстояния между точками измерения**Fig. 9.** Numbering of instruments, measuring points and distances between measuring points

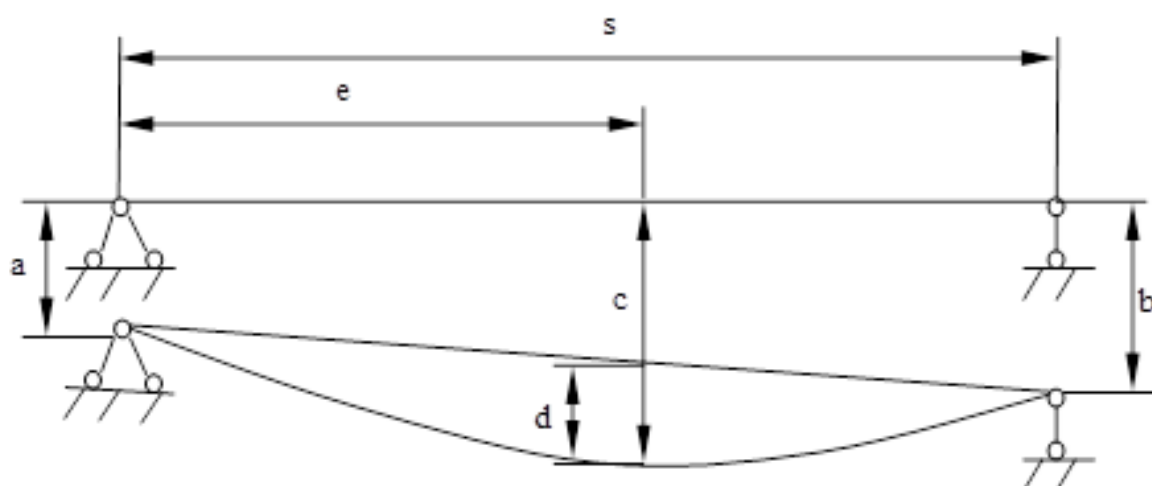


Рис. 10. Схема вычисления истинного прогиба в точке плиты

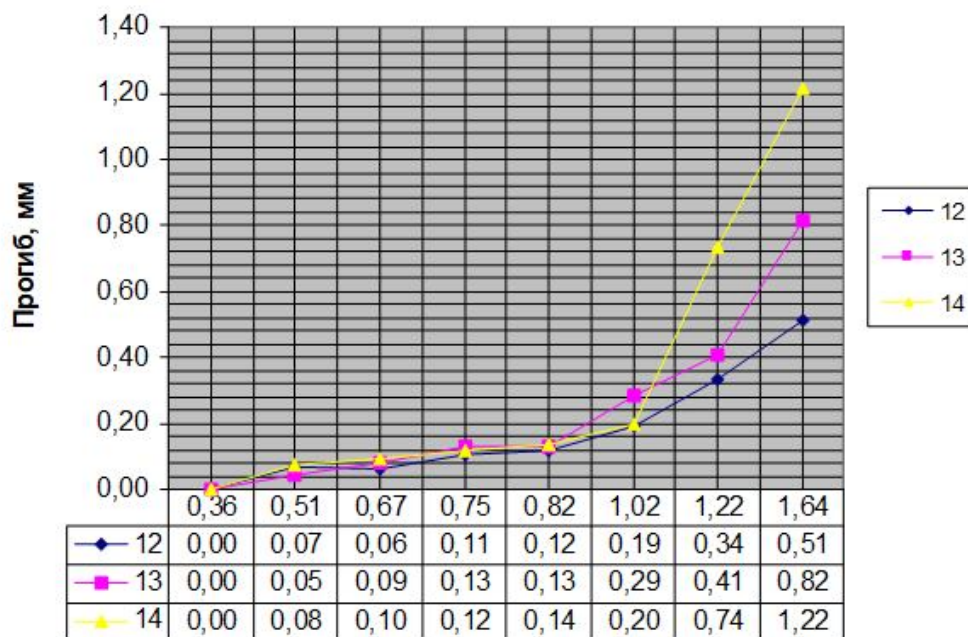
Fig. 10. Scheme for calculating true deflection at a slab point

Таблица 3. Результаты измерения прогибов

Table 3. Deflection measurement results

Степень нагружения	Отсчёт по прибору				
	11	12	13	14	15
Уровень нагружения	Прогиб, мм				
0	0,00	0,02	10,02	0,01	0,13
0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,13	10,14	0,20	0,28
0,51	0,00	0,07	0,05	0,08	0,00
2	0,00	0,15	10,24	0,31	0,40
0,67	0,00	0,06	0,09	0,10	0,00
3	0,00	0,22	10,33	0,40	0,49
0,75	0,00	0,11	0,13	0,12	0,00
4	0,00	0,24	10,34	0,45	0,53
0,82	0,00	0,12	0,12	0,14	0,00
5	0,00	0,34	10,56	0,59	0,64
1,02	0,00	0,19	0,29	0,20	0,00
6	0,00	0,61	10,94	1,51	1,15
1,22	0,00	0,34	0,41	0,74	0,00
7	0,00	0,79	11,35	2,00	1,16
1,64	0,00	0,51	0,82	1,22	0,00
Разгрузка	0,00	0,74	11,33	2,00	1,15
уровень нагрузки	0,00	0,47	0,80	1,23	0,00
Разгрузка	0,00	0,65	11,30	1,97	1,15
уровень нагрузки	0,00	0,53	0,77	1,20	0,00

Прогибы в точках измерения 12, 13, 14



Уровень нагружения, доли от контрольной нагрузки

Рис. 11. Прогибы в точках измерения 12, 13, 14

Fig. 11. Deflection at measurement points 12, 13, 14

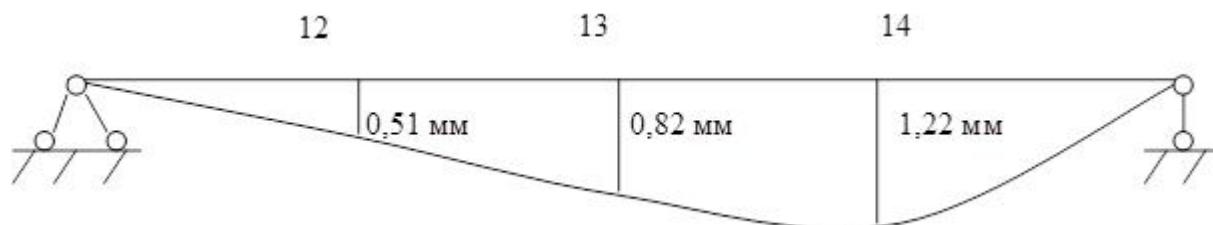


Рис. 12. Схема прогибов в точках измерения 12, 13, 14

Fig. 12. Scheme of deflections at measurement points 12, 13, 14

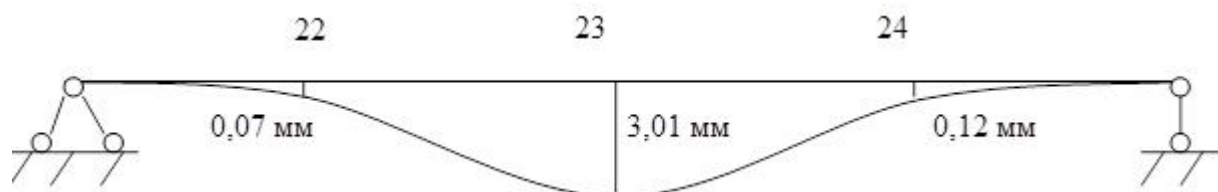


Рис. 13. Схема прогибов в точках измерения 22, 23, 24

Fig. 13. Scheme of deflections at measurement points 22, 23, 24

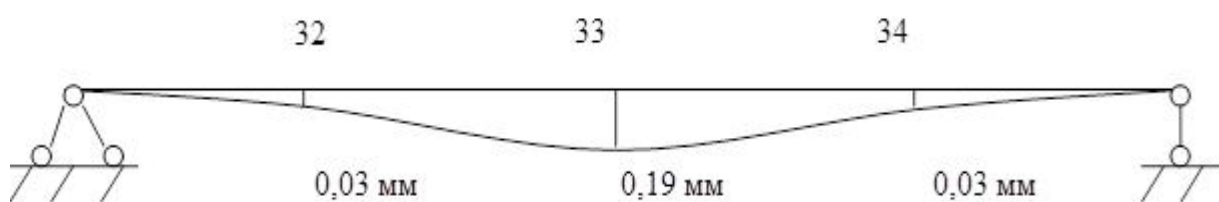


Рис. 14. Схема прогибов в точках измерения 32, 33, 34

Fig. 14. Scheme of deflections at measurement points 32, 33, 34

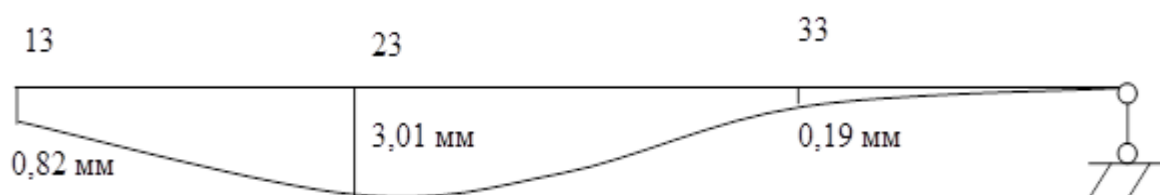


Рис. 15. Схема прогибов в точках измерения 13, 23, 33

Fig. 15. Scheme of deflections at measurement points 13, 23, 33

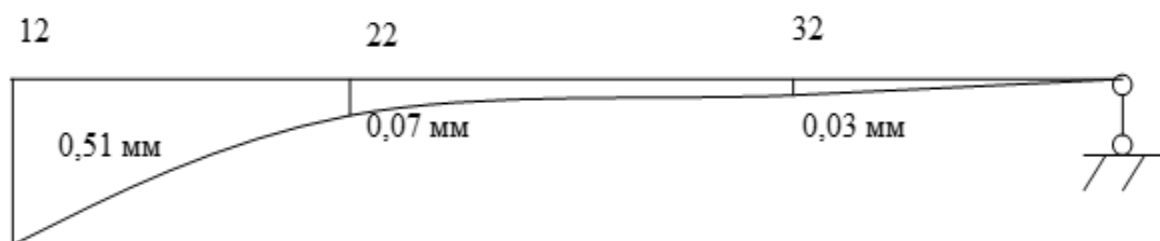


Рис. 16. Схема прогибов в точках измерения 12, 22, 32

Fig. 16. Scheme of deflections at measurement points 12, 22, 32

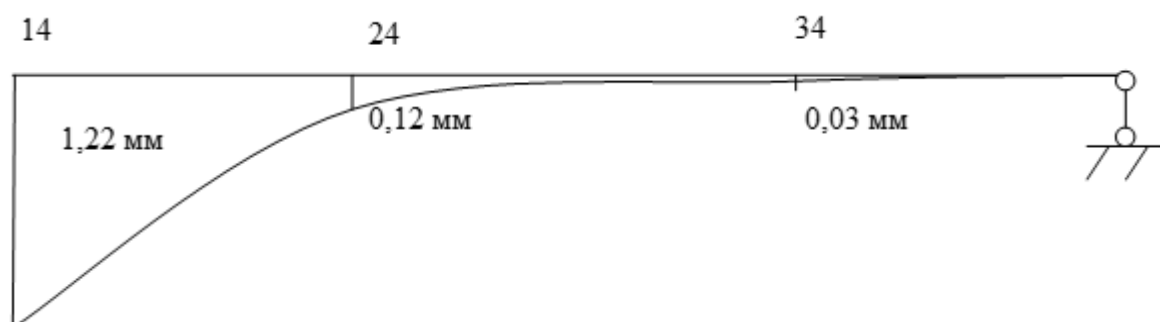


Рис. 17. Схема прогибов в точках измерения 14, 24, 34

Fig. 17. Scheme of deflections at measurement points 14, 24, 34

Асимметричная линии прогибов в точках измерения 12, 13, 14 вызвана, видимо, несимметричным армированием плиты в части, близкой к свободному краю.

Прогиб плиты в точке 23 оказался больше, чем в точке 13, что можно объяснить меньшим армированием плиты в средней её части, чем вблизи свободной стороны.

По линиям прогибов 22, 23, 24 и 32, 33 и 34 в четвертях пролётов наблюдаются перегибы кривой, что объясняется тем, что плита работает не по балочной схеме, она опёрта по трём сторонам.

Линии прогибов по точкам 12, 22, 32 и 14, 24, 34 имеют вполне ожидаемую форму: прогибы максимальны у свободного края плиты, имеют среднее значение в её середине и минимальны у опёртого края.

На каждой ступени нагружения проводили осмотр нижней части плиты с целью обнаружения возникших трещин, однако в процессе испытаний визуально трещин обнаружено не было.

Испытания были остановлены по указанию представителя руководства организации-заказчика испытаний из соображений безопасности проведения работ.

Результаты и их обсуждение

Плита была нагружена до уровня 325 кН или 20,1 кПа, что в 1,64 раза превысило контрольную нагрузку с коэффициентом безопасности 1,6, в 2,64 раза превысило расчётную нагрузку и в 3,08 раза нормативную.

Максимальный зафиксированный прогиб при максимальной нагрузке составил 3,01 мм или в долях пролёта 0,0009, что в 7,41 раза меньше допускаемого прогиба от нормативной нагрузки – 0,00667 от длины пролёта. При сравнении значений прогибов следует также иметь в виду, что максимальная нагрузка превышает нормативную в 3,08 раз.

В процессе проведения испытаний не было зафиксировано разрушения или других признаков предельного состояния или местных разрушений: акустической эмиссии, нарастания прогибов без увеличения нагрузки. Приборы не показывали приращений прогибов за время после окончания нагружения очередных ступеней до начала нагружения следующих. Это говорит о том, что при расчёте был заложен большой запас прочности, жёсткости и трещиностойкости.

Запасы по прочности и жёсткости и трещиностойкости, заложенные в стандартизированные СП методы расчёта отмечаются и проектировщиками – практиками. Чаще всего это объясняется одновременным учётом различных коэффициентов надёжности.

По нашему мнению, полученные запасы прочности и жёсткости и трещиностойкости испытанной плиты перекрытия, опёртой по трём сторонам, можно объяснить не только запасами, заложенными при проектировании. Существует теория исследования конструктивных систем с распределёнными параметрами на критических уровнях энер-

гии, показывающая, что классические теории сопротивления материалов, дают значительные запасы прочности и жёсткости [19, 20]. Большинство стандартизированных методик расчёта строительных конструкций, отражённых в действующих сводах правил, основаны именно на классических теориях. Это в значительной степени объясняет те запасы прочности и жёсткости, которые были экспериментально определены в нашей работе.

Выводы

Уточнение расчётной схемы работы конструкций, оптимальный выбор конечного элемента при расчёте, а также постепенное включение в своды правил методик расчёта строительных конструкций, основанных на теории конструктивных систем с распределёнными параметрами на критических уровнях энергии, позволит разрабатывать более экономичные строительные конструкции.

Список литературы

1. Турков А. В., Макаров А. А. Экспериментальные исследования систем перекрестных балок из деревянных элементов на квадратном плане с размером ячеек 0,4x0,4 м на динамические и статические нагрузки при изменении податливости связей // Строительство и реконструкция. 2016. № 6(68). С. 51-56. EDN XBKCBH.
2. Коновалов А. М., Кугушев В. И., Яковлев А. Ю. Результаты экспериментального исследования процесса перераспределения энергии собственных колебаний под воздействием демпфирующих факторов // Контроль. Диагностика. 2019. № 5. С. 46-51. DOI 10.14489/td.2019.05.pp.046-051. EDN RNNJBT.
3. Митасов В. М., Чхум А. Деформирование железобетонных балок с формообразующими элементами при длительных нагрузках // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 3. С. 79-84. EDN YUZRZJ.
4. Ахрамочкина Т. И. Теоретические и экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций с применением гнутых стальных профилей // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11, № 4. С. 27-40. DOI 10.22227/2305-5502.2021.4.3. – EDN AKOINX.
5. Ахрамочкина Т. И. Экспериментальные исследования силы сцепления стальной оцинкованной пластины и бетона // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11, № 2. С. 1-16. DOI 10.22227/2305-5502.2021.2.1. EDN KBWBVW.
6. Турков А. В., Макаров А. А., Ветрова О. А. Экспериментальные исследования систем перекрестных балок на квадратном плане с размером ячеек 0,4x0,4 м с покрытием при различных схемах опирания на динамические и статические нагрузки // Строительство и реконструкция. 2017. № 1(69). С. 82-89. EDN YGDJGB.
7. Сапожников С. Б., Иванов М. А., Щербаков И. А. Оценка предельной нагрузки сварных соединений высокопрочных сталей с учетом их механической и геометриче-

ской неоднородности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2020. № 1. С. 99-108. DOI 10.15593/perm.mech/2020.1.08. EDN ОСВРВЕ.

8. Филатов В. Б., Жильцов Ю. В., Коваленко М. В. Экспериментальное исследование работы жёсткого поперечного армирования железобетонных балок в зоне среза // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12, № 2. С. 16. EDN RKMCKI.

9. Viet Duc Nguyen, Van Binh Phung Static bending, free vibration, and buckling analyses of two-layer FGM plates with shear connectors resting // Alexandria Engineering Journal. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.07.038>

10. Pietro Croce et al. / Procedia Structural Integrity 11 (2018). P. 363–370.

11. Atef Eraky, Ahmed M. Anwar b , Alaa Saad a , Ayman Abdo, Damage detection of flexural structural systems using damage index method – Experimental approach // Alexandria Engineering Journal. 2015. 54, 497–507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.015>

12. Ning Zhuang, Honghan Dong, Da Chen, Yeming Ma. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites // Advances in Materials Science and Engineering Volume 2018, Article ID 6260724, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2018/6260724>

13. Chittaranjan B. Nayak, Giridhar N. Narule, Harshwardhan R. Surwase. Structural and cracking behaviour of RC T-beams strengthened with BFRP sheets by experimental and analytical investigation // Journal of King Saud University – Engineering Sciences 34 (2022) 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.01.001>

14. N. Jeevan a, B.S. Keerthi Gowda b, D.P. Archana a, Abdul Razak c, Mohamed Abbas d e, C. Ahamed Saleel Experimental study on flexural strengthening of RC beams with NSM technique by different orientation of CFRP laminate // Ain Shams Engineering Journal. February 2023., Vol. 14. Is. 1. 101823 <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101823>

15. Guangzhen Qu, 1,2 Pingming Huang,1 Guangli Zhou , 2 and Sizhong Lv Experimental Research on Fatigue Behavior of Existing Reinforced Concrete Beams // Advances in Civil Engineering Volume 2020, Article ID 8858945, 13 pages <https://doi.org/10.1155/2020/8858945>

16. Qingfu Li,1,2 Wei Guo , 1,2 Chenhui Liu,1,2 Yihang Kuang , 1,2 and Huitao Geng Experimental and Theoretical Studies on Flexural Performance of Stainless Steel Reinforced Concrete Beams // Advances in Civil Engineering Volume 2020, Article ID 4048750, 13 pages <https://doi.org/10.1155/2020/4048750>

17. Ступишин Л. Ю., Мошкевич М. Л. Решение задач об изгибе балки на основе вариационного критерия критических уровней энергии // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16, № 3. С. 306-316. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.3.306-316. EDN NCBVQD.

18. Ступишин Л. Ю. Критические уровни внутренней потенциальной энергии деформации твердых деформируемых тел. М., 2022. 387 с.

19. Ступишин Л. Ю., Масалов А. В. Архитектурно-конструктивные принципы строительства деревянных зданий возрастом более ста лет // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(3): 41-55. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-41-55>. EDN OFGJZU.

References

1. Turkov A., Makarov A. A. Eksperimental'nye issledovaniya sistem perekrestnykh balok iz derevyannykh elementov na kvadratnom plane s razmerom yacheek 0,4x0,4 m na dinamicheskie i staticheskie nagruzki pri izmenenii podatlivosti svyazei [Pilot studies of systems of cross beams from wooden elements on the square plan with a size of cells of 0,4x0,4 m for dynamic and static loadings at change of the pliability of communications]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and Reconstruction*. 2016, no. 6(68), pp. 51-56. EDN XBKCBH.

2. Konovalov A.M., Kugushev V.I., Yakovlev A. Yu. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya protsessa pereraspredeleniya energii sobstvennykh kolebaniy pod vozdeistviem dempfiruyushchikh faktorov [The results of experimental studies of the process of redistribution of self-oscillation energy under the influence of attenuates]. *Kontrol'. Diagnostika = Control. Diagnostics*, 2019, no. 5, pp. 46-51. DOI 10.14489/td.2019.05. pp.046-051. EDN RNNJBT.

3. Mitsov V. M. Chkhum A. Deformirovanie zhelezobetonnykh balok s formoobrazuyushchimi elementami pri dlitel'nykh nagruzkakh [Deformation of reinforced concrete beams with forming elements under long-term loading]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern Knowledge-intensive Technologies*, 2018, no. 3, pp. 79-84. EDN YUZRZJ.

4. Akhramochkina Tatiana I. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnykh konstruksii s primeneniem gnutykh stal'nykh profilei [Theoretical and experimental studies of steel-reinforced concrete structures that have bent steel sections]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie = Construction: Science and Education*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 27-40. DOI 10.22227/2305-5502.2021.4.3. EDN AKOINX.

5. Akhramochkina T. I. Eksperimental'nye issledovaniya sily stsepleniya stal'noi otsinkovannoi plastiny i betona [Experimental studies of the adhesion force between a zinc-coated steel plate and concrete]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie = Construction: Science and Education*. 2021, vol. 11, no. 2, pp. 1-16. DOI 10.22227/2305-5502.2021.2.1. EDN KBWBVW.

6. Turkov A., Makarov A., Vetrova O. Eksperimental'nye issledovaniya sistem perekrestnykh balok na kvadratnom plane s razmerom yacheek 0,4x0,4 m s pokrytiem pri razlichnykh skhemakh opiraniya na dinamicheskie i staticheskie nagruzki [Pilot studies of systems of cross beams on the square plan with a size of cells of 0,4x0,4 m the covering at various schemes supporting on dynamic and static loadings]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Construction and Reconstruction*, 2017, no. 1(69), pp. 82-89. EDN YGDJGB.

7. Sapozhnikov S.B., Ivanov M.A., Shcherbakov I.A. Otsenka predel'noi nagruzki svarnykh soedinenii vysokoprochnykh stalei s uchetom ikh mekhanicheskoi i geometricheskoi neodnorodnosti [The ultimate load estimation of welded joints of high-strength steels subject to mechanical and geometric heterogeneity]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo poli-tekhnicheskogo universiteta. Mekhanika = Bulletin of the Perm National Research Polytechnical University. Mechanics*, 2020, no. 1, pp. 99-108. DOI 10.15593/perm.mech/2020.1.08. EDN OCBPBE.
8. Filatov V.B., Zhiltsov Yu.V., Kovalenko M.V. Eksperimental'noe issledovanie raboty zhestkogo poperechnogo armirovaniya zhelezobetonnykh balok v zone sreza [Experimental study of the work of the rigid transverse reinforcement of reinforced concrete beams in the shear zone]. *Vestnik evraziiskoi nauki = Bulletin of Eurasian Science*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 16. EDN RKMCKI.
9. Viet Duc Nguyen, Van Binh Phung Static bending, free vibration, and buckling analyses of two-layer FGM plates with shear connectors resting. *Alexandria Engineering Journal*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.07.038>
10. Pietro Croce et al. / *Procedia Structural Integrity* 11 (2018) 363–370.
11. Atef Eraky, Ahmed M. Anwar b , Alaa Saad , Ayman Abdo, Damage detection of flexural structural systems using damage index method – Experimental approach. *Alexandria Engineering Journal* (2015) 54, 497–507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.015>
12. Ning Zhuang, Honghan Dong, Da Chen, and Yeming Ma. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2018, Article ID 6260724, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2018/6260724>
13. Chittaranjan B. Nayak, Giridhar N. Narule, Harshwardhan R. Surwase. Structural and cracking behaviour of RC T-beams strengthened with BFRP sheets by experimental and analytical investigation. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 34 (2022) 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.01.001>
14. N. Jeevan, B.S. Keerthi Gowda, D.P. Archana, Abdul Razak, Mohamed Abbas . Ahamed Saleel Experimental study on flexural strengthening of RC beams with NSM technique by different orientation of CFRP laminate. *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, is. 1, February 2023, 101823 <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101823>
15. Guangzhen Qu, Pingming Huang, Guangli Zhou, and Sizhong Lv Experimental Research on Fatigue Behavior of Existing Reinforced Concrete Beams. *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2020, Article ID 8858945, 13 pages <https://doi.org/10.1155/2020/8858945>
16. Qingfu Li, Wei Guo, Chenhui Liu, Yihang Kuang, Huitao Geng Experimental and Theoretical Studies on Flexural Performance of Stainless Steel Reinforced Concrete Beams. *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2020, Article ID 4048750, 13 pages <https://doi.org/10.1155/2020/4048750>

17. Stupishin L. Yu., Moshkevich M. L. Reshenie zadach ob izgibe balki na osnove variatsionnogo kriteriya kriticheskikh urovnei energii [Problems of beam bending solution on the basis of variation criterion of critical energy levels]. *Vestnik MGSU*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 306-316. DOI 10.22227/1997-0935.2021.3.306-316. EDN NCBVQD.

18. Stupishin L. Yu. *Kriticheskie urovni vnutrennei potentsial'noi energii de-formatsii tverdykh deformiruemyykh tel* [Critical levels of internal potential deformation energy of solid deformable bodies]. Moscow, 2022. 387 p.

19. Stupishin L. Yu., Masalov A.V. Architectural and Structural Principles of Construction of Wooden Buildings over a Hundred Years Old. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(3): 41-55 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-41-55>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Масалов Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: masalow.al@ya.ru

Alexander V. Masalov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: masalow.al@ya.ru

Филатов Юрий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной и теоретической механики, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: FilatovYB@mgsu.ru

Yuri B. Filatov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Structural and Theoretical Mechanics National Research Moscow State Construction University, Moscow, Russian Federation, e-mail: FilatovYB@mgsu.ru