

УДК 624.012.45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МНОГОПУСТОТНЫХ ПЛИТ

В.М. Митасов, Н.В. Стаценко, Ф.К. Саметов, А.М. Курбонов

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлены результаты исследования, позволяющие оценить степень влияния заранее организованных трещин на характер трещинообразования и процесс деформирования многопустотных плит перекрытия при кратковременном действии нагрузки.

Материалы и методы. Плиты изготовлены без предварительного напряжения – одна по обычной технологии, вторая с заранее организованными трещинами в процессе изготовления. Выполнен физический эксперимент на натурных конструкциях многопустотных плит перекрытия П66.10-8А500СП. Испытания провели до расчётной разрушающей нагрузки. Представлен сопоставительный анализ характера трещинообразования и процесса деформирования многопустотных плит перекрытия П66.10-8А500СП обычного изготовления и с заранее организованными трещинами.

Результаты. Результаты эксперимента подтвердили выдвинутые ранее гипотезы о большей жесткости плит с заранее организованными трещинами по сравнению с плитами, где трещины возникали стохастически, при эксплуатационной нагрузке. Установка организованных трещин не снижает несущую способность, при этом снижается деформативность, вследствие этого ширина раскрытия трещин и прогибы становятся меньше.

Обсуждение и заключения. В конструкциях большой длины, которые бракуются по 2-й группе предельных состояний, организация трещин на стадии изготовления позволит не ставить дополнительную арматуру для снижения ширины раскрытия трещин и прогиба.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многопустотная плита перекрытия; стохастические трещины, заранее организованные трещины; трещиностойкость.

© В.М. Митасов, Н.В. Стаценко, Ф.К. Саметов, А.М. Курбонов



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

CRACK STRENGTH OF HOLLOW CORE SLABS: EXPERIMENTAL RESEARCH

V.M. Mitasov, N.V. Statsenko, F.K. Sametov, A.M. Kurbonov
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The paper presents the results of research that allow assessing the degree of influence of pre-organized cracks on the character crack formation and on the process of the hollow-core slabs' deformation under short-term load action.

Materials and methods. The hollow-core slabs are made without prestressing – one by traditional technology, the second with pre-organized cracks in the manufacturing process. Physical experiment performed on full-scale structure of hollow-core slabs of П66.10-81500СП. The authors conducted the tests to the calculated breaking load. Moreover, the authors presented the contrastive analysis of character crack formation and of the hollow-core slabs' deformation of П66.10-8А500СП traditional manufacturing and with pre-organized cracks.

Results. As a result, the authors confirmed the earlier hypotheses about the greater rigidity of plates with pre-organized cracks in comparison with the plates where the cracks arose stochastically and under operational load. The installation of organized cracks did not reduce the bearing capacity, thus, reduced the deformability. Therefore, the width of the crack became smaller and the deflections became less.

Discussion and conclusions. In the structures of long length, which are rejected by the second limit group, the organization of cracks at the manufacturing stage allows not putting additional reinforcement to reduce the width and deflection of the crack.

KEYWORDS: hollow-core slabs, stochastic cracks, pre-organized cracks, crack strength.

© V.M. Mitasov, N.V. Statsenko, F.K. Sametov, A.M. Kurbonov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире инноваций и быстрого строительства железобетонные многопустотные плиты перекрытия являются очень востребованными и во многих случаях предпочтительной альтернативой более традиционным строительным материалам. Очевидны преимущества такой конструкции: сравнительно небольшой вес, что обеспечивает экономию на перевозке материала, кроме того, такие панели не утяжеляют здание, экономична во время производства, обладает хорошей теплоизоляцией за счет пустот, что позволяет сэкономить средства на отопление помещений.

У многопустотных плит длиной более 6 м один из основных недостатков – это раннее трещинообразование в растянутой зоне. При проектировании многопустотных плит (без предварительного напряжения арматуры) для обеспечения безопасности и надёжности их работы определяющим оказывается расчёт по второй группе предельных состояний, а именно расчет деформирования конструкции, на который влияет жесткость.

В соответствии с действующими нормами расчета конструкций по методу предельных состояний в стадии эксплуатации наличие трещин в изгибаемой конструкции второй и третьей категории трещиностойкости допускается, ограничивается лишь ширина их раскрытия.

Фундаментальный вклад в исследованиях трещиностойкости и деформативности железобетонных конструкций внесли А.А. Гвоздев [1], В.И. Мурашев¹, Н.И. Безухов², С.М. Крылов³, в дальнейшем О.Я. Берг⁴, В.М. Бондаренко⁵, Я.М. Немировский [2], Н.И. Карпенко⁶ и др.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом проводятся исследования, направленные на разработку и совершенствование

методики расчёта жёсткости железобетонных изгибаемых элементов с трещинами в стадии эксплуатации [3, 4, 5], изучается влияние ранее существующих трещин на прочность сцепления арматуры с бетоном⁷ [6, 7, 8], прогнозирование трещинообразования в железобетонных конструкциях [9, 10].

В ряде работ [3, 11, 12, 13, 14, 15, 16] обоснован динамический характер образования первой стохастической трещины, что в значительной степени влияет на жесткость железобетонных изгибаемых элементов. Для исключения или существенного снижения динамики образования стохастической трещины проф. В.М. Митасов предложил смягчить данный процесс путем организации нормальных трещин в ходе изготовления конструкций из железобетона. В развитии этого направления были проведены физические эксперименты на бетонных и железобетонных балках и безбалочных плитах перекрытия с заранее организованными трещинами [17, 18, 19, 20].

Цель настоящего исследования – изучить влияние заранее организованных трещин на трещиностойкость и деформативность многопустотных плит при кратковременном действии нагрузки.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявить особенности процесса трещинообразования, оценить ширину раскрытия трещин и прогибы в вышеупомянутых многопустотных плитах на разных этапах приложения нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с поставленными целью и задачами исследования были изготовлены и испытаны 2 железобетонные многопустотные плиты перекрытия: одна обычного изготовления, другая с пятью заранее организованными трещинами. Организованная трещина – это устанавливаемая сверху на арматуру алюми-

¹ Мурашев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. М. : Машстройиздат, 1950. 268 с.

² Безухов Н.И. Основы теории сооружений, материал которых не следует закону Гука // Сб. тр. 1936 г. М., 1936. №4. С. 7-81.

³ Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. М. : Стройиздат, 1964. 165 с.

⁴ Берг О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М. : Госстройиздат, 1962. 96 с.

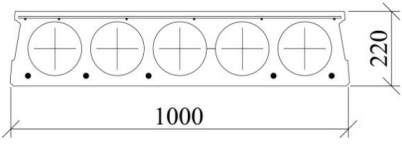
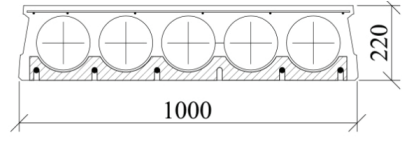
⁵ Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1968. 323 с.

⁶ Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М. : Стройиздат, 1976. 208 с.

⁷ Прокопович А. А. Соппротивление изгибу железобетонных конструкций с различными условиями сцепления продольной арматуры с бетоном. Самара : НВФ Сенсоры. Модули. Системы, 2000. 296 с.

Таблица 1
Исходные данные

Table 1
Basic conditions

Шифр плиты	Схема расстановки организованных трещин	Продольная рабочая арматура, мм	Призменная прочность бетона, МПа
		d_s/μ	R_{bn}
П66.10-8А500СП		$5\varnothing 14$ 1,9%	24,9
П66.10-8А500СП-Т5		$5\varnothing 14$ 1,9%	24,6

ниевая пластинка толщиной 0,25 мм до бетонирования плиты. Чтобы избежать коррозии арматуры, вырезы были больше диаметра арматуры и не касались ее. Для фиксации пластины симметрично на внутренних боковых поверхностях металлической опалубки делали пазы на длину 70 мм и глубину 2–3 мм. На основании выводов, опубликованных в работах [21, 22], шаг трещин принят 400 мм (рисунок 1). Высоту организованных трещин приняли менее 0,3h плиты, так как исследования показали⁸, что при большой высоте создаются благоприятные условия для изменения направления развития трещин с поперечного на продольное, что может привести к выколам части бетона плиты, ограниченного трещинами и резко снизить несущую способность железобетонного изгибаемого элемента или привести к разрушению.

Обе плиты были испытаны по идентичной технологии. Исходные данные по программе эксперимента приведены в таблице 1. В результате испытаний был получен сравнительный материал по трещинообразованию плит с различными исходными состояниями.

Плиты изготовлены из мелкозернистого бетона В25. В растянутой зоне плит расположена продольная рабочая арматура из горячекатаной стали периодического профиля без предварительного напряжения $5\varnothing 14$ А500СП. Процент армирования составляет $\mu = 1,9\%$. В приопорных зонах в 1/4 части пролёта в пли-

тах установлены 4 сварных каркаса, состоящих из продольной и поперечной арматуры проволоки $\varnothing 4$ Вр500. В сжатой зоне плит расположена сетка с ячейками 200x250 мм из проволоки $\varnothing 4$ Вр500. Схема армирования представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Алюминиевые пластины для создания организованных трещин

Figure 1 – Aluminum plates to create pre-organized cracks

В качестве расчетной схемы при испытании плит принята схема шарнирно-опертой однопролётной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой в диапазоне $0 \div 12,65$ кН/м². Загружение плит проводили штучным материалом (перемычки 2ПБ13-1 массой 54 кг) ступенями по 1,23 кН/м². На каждой ступени нагружения выдерживали 15 мин, в течение этого времени фиксировали показания приборов и измеряли ширину раскрытия трещин.

Схема испытания и расстановка механических приборов на железобетонных многопустотных плитах перекрытия показана на

⁸ Пересыпкин Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов. М.: Стройиздат, 1988. 168 с.

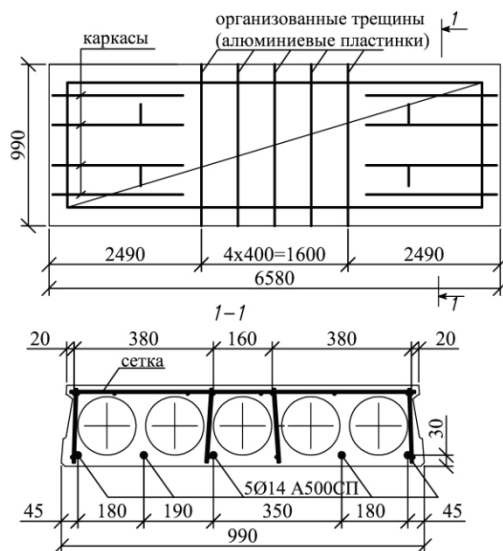


Рисунок 2 – Схема армирования многоярусной плиты и расположение заранее организованных трещин

Figure 2 – Scheme of reinforcing hollow core slab and the position of pre-organized cracks

рисунке 3. Для регистрации прогибов балок использовали прогибометры Аистова с ценой деления 0,01 мм. Осадки опор и перемещения измеряли при помощи индикаторов часовой-

го типа ИЧ с ценой деления 0,01 мм. Ширину раскрытия трещин измеряли с помощью микроскопа МПБ-2.

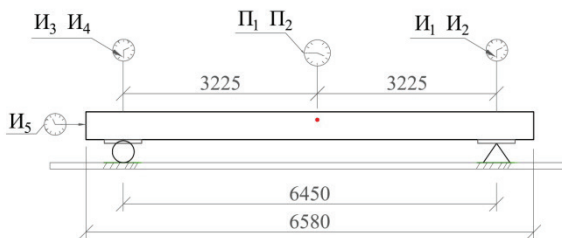


Рисунок 3 – Общий вид установки для испытания плит

Figure 3 – View of the test schematic slabs

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первые видимые трещины появились на 2-й ступени нагружения (рисунок 4) в зоне максимальных моментов. В плите П66.10-8А500СП обычного изготовления их было 7 шт., высота трещин была в пределах $h_{\text{crс}} = (0,35-0,83)h$ плиты, при этом максимальное значение $h_{\text{crс}} = 165$ мм ($0,83h$ плиты) зафиксировано в середине пролета. Шаг трещин в среднем составлял $l_{\text{crс}} = 390$ мм, при этом минимальное расстояние между трещинами $l_{\text{crс}} =$

$= 215$ мм, а максимальное $l_{\text{crс}} = 505$ мм. В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами количество трещин в два раза больше, но высота трещин в пределах $h_{\text{crс}} = (0,25-0,65)h$ плиты, при этом роста по высоте организованных трещин не наблюдалось. Шаг трещин в среднем составлял $l_{\text{crс}} = 215$ мм, минимальное расстояние между трещинами $l_{\text{crс}} = 130$ мм, максимальное $l_{\text{crс}} = 432$ мм. Ширина раскрытия трещин не превышала $a_{\text{crс}} = 0,025$ мм в обеих плитах.

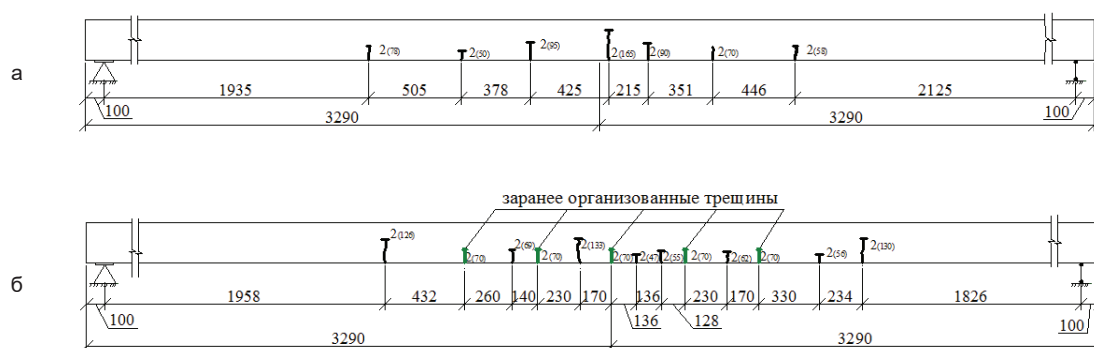


Рисунок 4 – Схема трещинообразования на второй ступени нагружения:
а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 4 – Scheme of crack propagation in the second loading stage:
a – P66.10-8A500CP slab; b – P66.10-8A500CP-T5 slab

Дальнейшее увеличение нагрузки до 4-й ступени ($F = 775 \text{ кгс/м}^2$) нагружения сопровождалось быстрым развитием трещин по высоте и ширине, и появлением новых трещин в плите П66.10-8А500СП (рисунок 5, а). Высота трещин составляла в среднем $h_{\text{срс}} = 0,7h$ плиты, при этом максимальное значение $h_{\text{срс}} = 185 \text{ мм}$ ($0,83h$ плиты) зафиксировано

в середине пролета. Шаг трещин в среднем составлял $l_{\text{срс}} = 270 \text{ мм}$, минимальное расстояние между трещинами $l_{\text{срс}} = 140 \text{ мм}$, а максимальное $l_{\text{срс}} = 425 \text{ мм}$. Максимальная ширина раскрытия зафиксирована в середине пролета $a_{\text{срс}} = 0,15 \text{ мм}$.



Рисунок 5 – Схема трещинообразования на четвертой ступени нагружения:
а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 5 – Scheme of crack propagation in the fourth loading stage:
a – P66.10-8A500CP slab; b – P66.10-8A500CP-T5 slab

В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами количество трещин составило 21шт., высота трещин не превышала $h_{\text{срс}} = 130 \text{ мм}$ $0,65h$ плиты, при этом роста ширины раскрытия трещин не наблюдалось (рисуноу 5, б). Шаг трещин в среднем составлял $l_{\text{срс}} = 175 \text{ мм}$, минимальное расстояние

между трещинами $l_{\text{срс}} = 80 \text{ мм}$, максимальное $l_{\text{срс}} = 385 \text{ мм}$. Ширина раскрытия трещин не превышала $a_{\text{срс}} = 0,1 \text{ мм}$.

Далее по мере увеличения нагрузки интенсивность развития трещин по высоте замедляется и практически завершается при нагрузках, составляющих приблизительно $0,6...0,8$

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

от разрушающей в плите П66.10-8А500СП. Максимальная высота нормальных трещин составляет $(0,6...0,93)h$ плиты. Ширина раскрытия трещины в середине пролета достигает 0,7 мм.

В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами количество трещин увеличилось, высота трещин не превышала $h_{cr} = 165$ мм $(0,83)h$ плиты, ширина раскрытия трещин не превышает 0,1 мм (рисунок 5, б). Организованные трещины имеют незначительное раскрытие в среднем $a_{cr,m} = 0,05...0,1$ мм. Шаг трещин в среднем состав-

лял $l_{cr} = 175$ мм, при этом минимальное расстояние между трещинами $l_{cr} = 66$ мм, максимальное $l_{cr} = 300$ мм. Схемы расположения последующих трещин показаны на рисунках 6, 7.

При увеличении нагрузки до $(0,8-1)F_{ult}$ от разрушающей в плите П66.10-8А500СП рост трещин замедляется и происходит их заметное раскрытие до 0,7мм, а в плите П66.10-8А500СП-Т5 рост трещин прекратился уже при нагрузке $(0,6-0,7)F_{ult}$, при этом количество новых трещин росло, ширина раскрытия трещин не превышала 0,1мм.

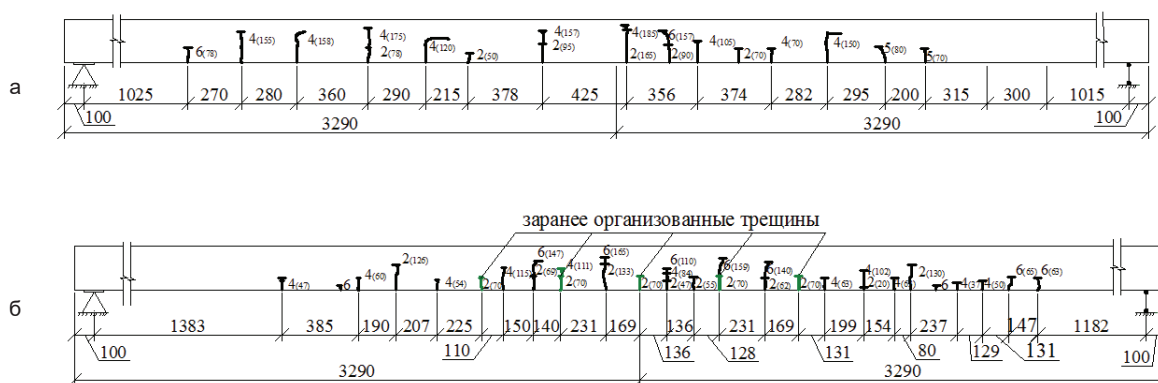


Рисунок 6 – Схема трещинообразования на шестой ступени нагружения: а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 6 – Scheme of crack propagation in the sixth loading stage: а – П66.10-8А500СП slab; б – П66.10-8А500СП-Т5 slab

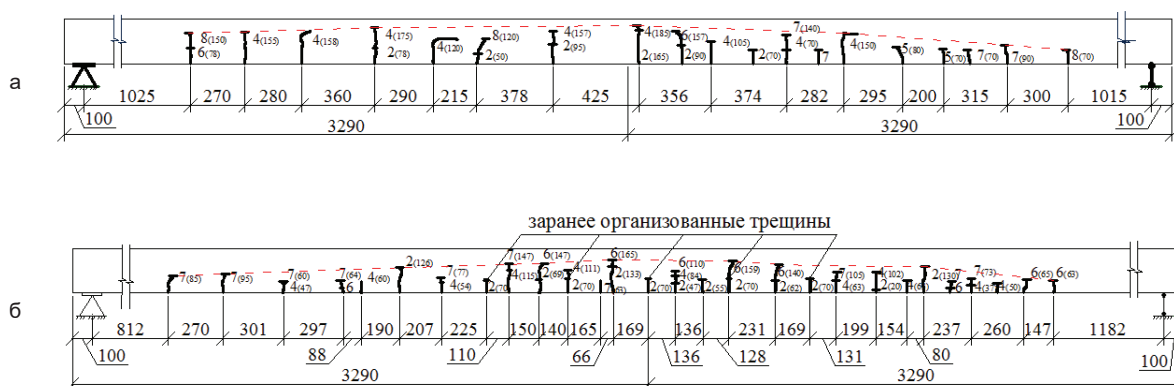


Рисунок 7 – Схема трещинообразования на восьмой ступени нагружения: а – в плите П66.10-8А500СП; б – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 7 – Scheme of crack propagation in the eighth loading stage: а – П66.10-8А500СП slab; б – П66.10-8А500СП-Т5 slab

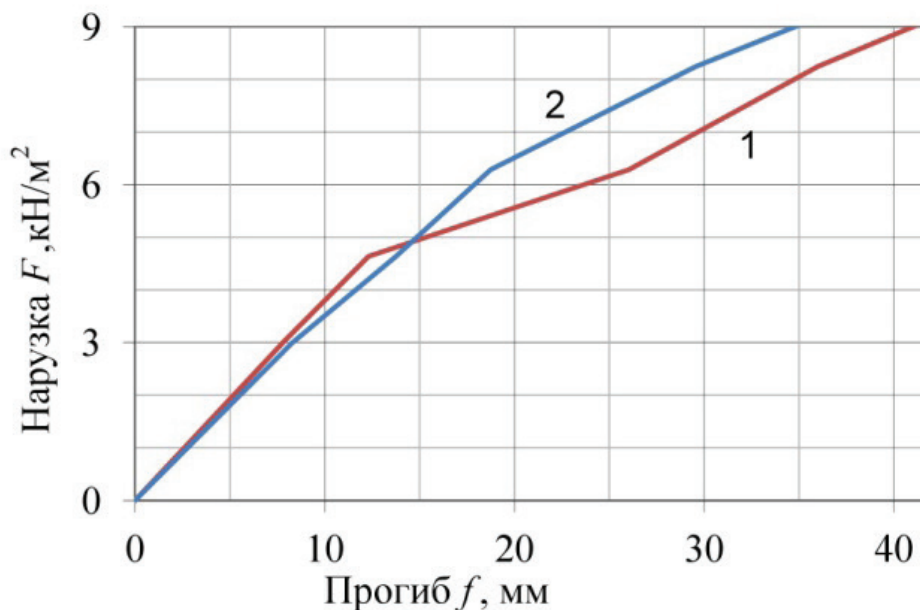


Рисунок 8 – График зависимостей прогиба f от нагрузки F :
1 – в плите П66.10-8А500СП;
2 – в плите П66.10-8А500СП-Т5

Figure 8 – Dependency graph of the f deflection from the F load:
1 – in П66.10-8А500СП slab;
2 – in П66.10-8А500СП-Т5 slab

Таблица 2
Сравнение теоретических расчетов плиты с экспериментальными данными

Table 2
Comparison of theoretical calculations of the plate with experimental data

Исследуемое состояние конструкции	Контрольные нагрузки и параметры		
	экспериментальные данные		по нормативно-техническим документам
	П66.10-8А500СП обычного изготовления	П66.10-8А500СП-Т5 с организованными трещинами	
По трещиностойкости	Нагрузка, при которой образуется трещина		
	$q_{crс}^{on} = 4,63 \text{ кН/м}^2$	-	$q_{crс}^k = 3,92 \text{ кН/м}^2$
По ширине раскрытия нормальных трещин	При контрольной нагрузке $q_a^k = 9,6 \text{ кН/м}^2$		
	$a_{crс}^{on} \leq 0,4 \text{ мм}$	$a_{crс}^{on} \leq 0,1 \text{ мм}$	$a_{crс} \leq 0,3 \text{ мм}$
По жесткости (по деформации)	При контрольной нагрузке $q_r^k = 8,4 \text{ кН/м}^2$		
	$f_k^{on} = 35 \text{ мм}$	$f_k^{on} = 29,6 \text{ мм}$	$f_k = 32 \text{ мм}$

График зависимости прогиба от нагрузки в плите П66.10-8А500СП показан на рисунке 8. В упругой стадии работы значение прогиба плиты обычного изготовления отличается от прогиба плиты П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами в пределах 12%, и только при образовании стохастических трещин на графике отчетливо различимо изменение значения прогиба плит под нагрузкой.

В момент образования стохастических трещин прогиб плиты обычного изготовления увеличился в 2 раза. Это укладывается в классическое решение задачи строительной механики. Для модели с одной степенью свободы динамические перемещения вдвое превышают перемещения от статически приложенной нагрузки⁹. В плите П66.10-8А500СП-Т5 в момент образования новых стохастических и раскрытия заранее организованных трещин прогиб увеличился на 40%.

Сравнение теоретических расчетов плиты по трещиностойкости и деформативности с экспериментальными данными, полученными при испытании многопустотных плит перекрытия, приведено в таблице 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При сравнении характера трещинообразования плит, приведенных на рисунках 4–7, выявлено, что заранее организованные трещины качественно и количественно влияют на характер развития трещин. В плите П66.10-8А500СП-Т5 с заранее организованными трещинами по сравнению с плитой П66.10-8А500СП количество трещин превышено в три раза, вследствие этого шаг трещин меньше. Роста по высоте заранее организованных трещин не наблюдалось, высота новых трещин меньше, чем у плиты обычного изготовления.

2. Ширина раскрытия трещин в плитах обычного изготовления достигла 0,4 мм, в плитах же с заранее организованными трещинами не превышала 0,1 мм при контрольной нагрузке по ширине раскрытия нормальных трещин (с учётом собственного веса), что допустимо по нормативно-техническим документам.

3. Организация трещин при изготовлении конструкций положительно сказывается на параметрах второй группы предельных состояний - уменьшаются ширина раскрытия трещин и прогибы. При контрольной нагрузке по жесткости (с учётом собственного веса) прогиб в середине пролета плиты обычного из-

готовления превышает соответствующую величину в плитах с заранее организованными трещинами на 15%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гвоздев А.А., Карпенко Н.И. Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 2. С. 20–23.

2. Немировский Я.М. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с учётом работы растянутого бетона над трещиной и пересмотр на этой основе теории расчёта деформаций и раскрытия трещин // Прочность и жёсткость железобетонных конструкций: сб. научн.ст. НИИЖБ. М., 1968. С. 47–54.

3. Митасов В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона: монография. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010. 158 с.

4. Darwin D., Dolan C. W., Nilson A.H. Design of Concrete Structures. 15th edition. New York: McGraw-Hill, 2016. 786 p.

5. Радайкин О.В. К совершенствованию методики расчёта жёсткости изгибаемых железобетонных элементов из обычного железобетона // Известия КазГАСУ. 2012. № 1(19). С. 59–66.

6. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Simulated Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars [Электрон. ресурс]: SL Report 12-2. University of Kansas Center for Research. Lawrence. Kansas, 2012. 243p. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/1808/19828>.

7. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Preexisting Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars // ACI Structural Journal. 2016. Vol. 113, No. 4. pp. 801–812.

8. Спрыгин Г.М., Решетарь Ю.Г. Деформативность изгибаемых элементов при частичном отсутствии сцепления арматуры с бетоном // Бетон и железобетон. 1983. № 4. С. 12–14.

9. Carino N.J., Clifton J.R. Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures. Gaithersburg: NISTIR 5634, NIST BFRL, 1995. 50 p.

10. Васильев П.И., Пресыпкин Е.Н. Об условиях образования продольных трещин в изгибаемых железобетонных элементах // Изв. вузов. Сер. Строительство и архитектура. 1983. № 9. С. 29–33.

⁹ Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. С.П. Тимошенко. М.: Наука, 1965. Т. 1. 364 с.

11. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids // *Philos. Trans. Roy. Soc.*, London. 1920. Ser. A. Vol. 221. pp. 163–198.

12. Griffith A.A. The theory of rupture // *Proc. First Internet Congress Appl. Mech. Delft, 1924*. pp. 55–63.

13. Митасов В.М. Некоторые пути дальнейшего развития теории сопротивления железобетона // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1990. №10. С. 3–9.

14. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber. *Physical Review Letters*. 2005. vol. 94. Ser. 048001. Режим доступа: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.94.048001>.

15. Guodzen T M., Jagla E.A. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture. *Physical Review Letters*, 2005, vol. 95, Ser. 224302. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10704-009-9426-4>.

16. Митасов В.М., Стаценко Н.В. Динамический аспект образования стохастических трещин в бетонных и железобетонных конструкциях // *Известия вузов. Строительство*. 2016. № 8. С. 5 – 11.

17. Михайлова Н.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без трещин и с заранее намеченной трещиной // *Известия вузов. Строительство*. 2007. С. 117 – 120.

18. Логунова М.А., Пешков А.С. Экспериментальные исследования бетонных балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 1. С. 116 – 120.

19. Митасов В.М., Логунова М.А., Шатохина М.В. Железобетонные балки с организованными трещинами под воздействием длительной нагрузки // *Известия вузов. Строительство*. 2013. №10. С. 5 – 10.

20. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Control of stress-strain state in double-span reinforced concrete beams. *MATEC Web of Conference* 143, 01007, 2018. Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814301007>.

21. Адищев В.В., Роот В.В. Определение параметров напряженно-деформированного состояния в окрестности трещины нормального отрыва в изгибаемых железобетонных элементах // *Труды НГАСУ*. 2013. Т.16. № 2(56). С. 83–95.

22. Адищев В.В., Демешкин А.Г., Шульга В.К., Грачева М.С., Данилов М.Н., Мальцев В.В. Определение зоны анкеровки армирующего элемента при вытягивании из матрицы // *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 12. С. 67–79.

REFERENCES

1. Gvozdev A.A. Rabota zhelezobetona s treshhinami pri ploskom naprjazhennom sostojanii [Reinforced concrete with cracks in the plane stress state]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*. 1965; 2: 20–23 (in Russian).

2. Nemirovskij Ja. M. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zhelezobetonnyh jelementov s uchjotom raboty rastjanutogo betona nad treshhinoj i peresmotr na jetoj osnove teorii raschjota deformacij i raskrytija treshhin. [Investigation of the stress-strain state of reinforced concrete elements, taking into account the work of stretched concrete over a crack, and revising, on this basis, the theory of deformation calculation and crack opening]. *Sbornik nauchnyh statej NIIZhB «Prochnost' i zhjostkost' zhelezobetonnyh konstrukcij»*. 1968: 47–54 (in Russian).

3. Mitasov V.M. Osnovnyie polozheniya teorii soprotivleniya zhelezobetona: monografiya [Fundamental theses of reinforced concrete resistance theory: a monograph]. *Novosibirsk*, 2010: 158 p. (in Russian).

4. Darwin D., Dolan C. W., Nilson A. H. Design of Concrete Structures. New York: 15th edition McGraw-Hill, 2016. 786 p.

5. Radajkin O.V. K sovershenstvovaniju metodiki raschjota zhjostkosti izgibaemyh zhelezobetonnyh jelementov iz obychnogo zhelezobetona [Improvement of the methodology for calculating the stiffness of flexible concrete elements from ordinary reinforced concrete]. *Izvestija KazGASU*. 2012; no 1(19): 59–66 (in Russian).

6. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Simulated Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars. SL Report 12–2. University of Kansas Center for Research. Lawrence. Kansas, 2012: 243p.

7. Yuan J., O'Reilly M., Matamoros A., Darwin D. Effect of Preexisting Cracks on Lap Splice Strength of Reinforcing Bars. *ACI Structural Journal*. 2016; vol. 113, no. 4: 801–812.

8. Sprygin G.M., Reshetar' Ju.G. Deformativnost' izgibaemyh jelementov pri chastichnom otsutstvii sceplenija armatury s betonom [Deformability of flexural elements with partial absence clutch of reinforcement to concrete]. *Beton i zhelezobeton*. 1983; 4: 12–14 (in Russian).

9. Carino N.J., Clifton J.R. Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures. Gaithersburg: NISTIR 5634, NIST BFRL, 1995: 50 p.

10. Vasil'ev P.I., Peresyarkin E.N. Ob usloviyah obrazovaniya prodol'nyh treshhin v izgibaemykh zhelezobetonnykh jelementah [On the conditions for the formation of longitudinal cracks in bending reinforced concrete elements]. *Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arhitektura*. 1983; 9: 29–33 (in Russian).

11. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids. *Philos. Trans. Roy. Soc., London*, 1920, Ser. A., vol. 221: 163–198.

12. Griffith A. A. The theory of rupture. *Proc. First Internat. Congress Appl. Mech. Delft*, 1924: 55–63.

13. Mitasov V. M. Nekotorye puti dal'nejshego razvitija teorii soprotivlenija zhelezobetona [Some further development ways of the resistance theory of reinforced concrete]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*. 1990; 10: 3–9 (in Russian).

14. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber. *Physical Review Letters*. 2005; 94, Ser. 048001.

15. Guodzen T.M., Jagla E.A. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture. *Physical Review Letters*. 2005; 95, Ser. 224302.

16. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Dinamicheskij aspekt obrazovaniya stoxasticheskoj treshhiny v betonnyx i zhelezobetonnyx konstrukcijax [Dynamic aspect of the stochastic crack formation in concrete and reinforced concrete structure]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2016; 8: 5–11 (in Russian).

17. Mixajlova N.S. E'ksperimental'ny'e issledovaniya zhelezobetonnyx balok bez treshhin i s zaranee namechennoj treshhinoj [Experimental investigation of reinforced concrete beams without cracks and with previously intended crack]. *Izvestie vuzov. Stroitel'stvo*. 2007; 4: 117–120 (in Russian).

18. Logunova M.A., Peshkov A.S. E'ksperimental'ny'e issledovaniya betonnyx balok bez organizovannyx treshhin i s zaranee organizovanny'mi treshhinami [Experimental research of concrete beams without cracks and with specified cracks]. *Izvestie vuzov. Stroitel'stvo*. 2011; 1: 116–120 (in Russian).

19. Mitasov V.M., Logunova M.A., Shatoxina M.V. Zhelezobetonny'e balki s organizovanny'mi treshhinami pod vozdejstviem dlitel'noj nagruzki [Reinforced concrete beams with specified cracks under the long-term load]. *Izvestie vuzov. Stroitel'stvo*. 2013; 10: 5–10 (in Russian).

20. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Control of stress-strain state in double-span reinforced concrete beams. *MATEC Web of Conference*, 143, 01007. 2018.

21. Adishchev V.V., Root V.V. Opredelenie parametrov napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya v okrestnosti treshhiny normal'nogo otry'va v izgibaemyx zhelezobetonnyx e'lementax [Determination of stress-strain state parameters in the vicinity of the normal separation crack in the bent reinforced concrete elements]. *Trudy NGASU*. 2013; 16, no 2 (56): 83–95 (in Russian).

22. Adishchev V.V., Demeshkin A.G., Shul'ga V.K., Gracheva M.S., Danilov M.N., Mal'czev V.V. Opredelenie zony ankerovki armiruyushhego e'lementa pri vy'tyagivanii iz matricy [Definition of the anchoring zone of the reinforcing element when pulling from matrix]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2014; 12: 67–79 (in Russian).

Поступила 25.03.2019 , принята к публикации 21.06.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Митасов Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: mitassovv@mail.ru).

Стаценко Наталья Валерьевна – ст. преподаватель кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: stacnat@yandex.ru).

Саметов Фархад Каримович – аспирант кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: f_sametov@mail.ru).

Курбонов Ахмаджон Махмарахимович – аспирант кафедры Железобетонные конструкции, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), (630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. e-mail: ajamy9009@gmail.com).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valeriy M. Mitasov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin), (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: mitassovv@mail.ru).

Natalya V. Statsenko – Graduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: stacnat@yandex.ru).

Farkhad K. Sametov – Graduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: f_sametov@mail.ru).

Akhmadzhon M. Kurbonov – Graduate Student, Department of Reinforced Concrete Structures, Novosibirsk State Architectural University (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113 Leningradskaya St., e-mail: ajamy9009@gmail.com).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Митасов В.М., Стаценко Н.В., Саметов Ф.К., Курбонов А.М. имеют равные авторские права.

AUTHORS' CONTRIBUTION

The authors have equal rights.