

## АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ С НОВЫМ ВАРИАНТОМ ШПОНОЧНОГО СТЫКА

**А.А. Варламов, О.В. Никитина**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск*

Проведены натурные испытания образцов сборно-монолитного перекрытия с новым вариантом шпоночного стыка, отличающегося наличием каркасов в опорной зоне многопустотной плиты, имеющих выпуски продольной арматуры. Проведен сравнительный анализ работы образцов фрагментов перекрытий со шпоночными стыками, из плит с каркасами в опорной зоне и без. В результате анализа установлено, что наличие выпусков продольной арматуры каркасов многопустотных плит позволяет повысить прочность и жесткость сборно-монолитного перекрытия. Сделан вывод о том, что жесткость нового варианта шпоночного стыка выше, чем у аналогов и уменьшается с увеличением нагрузки, при малых нагрузках она близка к жесткой заделке. На основе экспериментальных данных выделены три этапа работы перекрытия. На первом этапе перекрытие работает как упругая система. На втором этапе перекрытие работает как статически неопределимая система в условиях ограниченных деформаций. Ригели работают на изгиб с кручением, что приводит к повышению жесткости сборно-монолитного перекрытия на изгиб в пролете многопустотных плит. На третьем этапе наблюдается рост пластических деформаций. В заключение сделан вывод, что анкеровка в ригель выпусков продольной арматуры каркасов многопустотной панели обеспечивает совместную работу элементов сборно-монолитного перекрытия.

*Ключевые слова:* сборно-монолитное перекрытие, шпоночный стык, многопустотная плита.

С целью увеличения прочности и надежности сборно-монолитного перекрытия со шпоночными стыками был предложен вариант шпоночного стыка [1], отличающийся от аналогов [2, 3] наличием арматурных выпусков верхней и нижней продольной арматуры каркасов многопустотных плит, заанкеренных в ригель, кроме того увеличенной шириной ригеля.

Для оценки влияния на напряженно-деформированное состояние перекрытия выпусков продольной арматуры каркасов многопустотных плит, заанкеренных в тело монолитного ригеля, был проведен сравнительный анализ данных, полученных при испытании образцов с армированием шпоночного стыка и без его армирования. Образцы фрагмента сборно-монолитного перекрытия состояли из одной многопустотной плиты ПК59.15, к которой с двух сторон были замоноличены фрагменты железобетонного ригеля. Образец СМПА отличался от образца СМП наличием каркасов в опорных торцах многопустотных плит, имеющих выпуски продольной арматуры (рис. 1).

Испытания проводили до разрушения фрагмента. Целью испытаний являлась оценка прочности стыкового соединения за счет изучения напряженно-деформированного состояния в элементах перекрытия.

Контрольные параметры были назначены в результате выполненных расчетов с учетом фактических характеристик изделия.

Испытания вертикальной равномерно-распределенной нагрузкой фрагмента каркаса осуществляли поэтапно последовательным нагружением фрагмента узловое соединения многопустотной плиты перекрытия и монолитного ригеля – ступенями до уровня контрольной нагрузки, соответствующей полной расчетной нагрузке по первому предельному состоянию для рассматриваемого объекта ( $q_1 = 8$  кПа [800 кгс/м<sup>2</sup>]). Для загрузки использовали грузы в виде блоков ФБС 12.3.6. По концам образца были установлены шарнирные линейные опоры, одна из которых была неподвижной, а другая – подвижная, допускающая перемещение изделия вдоль пролета.

По мере загрузки фрагмента фиксировали продольные деформации бетона, фактические значения прогибов и ширину раскрытия трещин.

Разрушение образца с выпусками продольной арматуры каркасов (образец СМПА) произошло при нагрузке, превышающей расчетную в два раза, в результате достижения напряжений предела текучести в рабочей арматуре многопустотных панелей, что сопровождалось ростом и раскрытием поперечных трещин в середине многопустотной плиты. При этом образования трещин в шпоночном стыке зафиксировано не было.

Разрушение образца без выпусков продольной арматуры (СМП) произошло из-за среза бетонной шпонки при нагрузке, составляющей 76,6 % от контрольной разрушающей нагрузки.

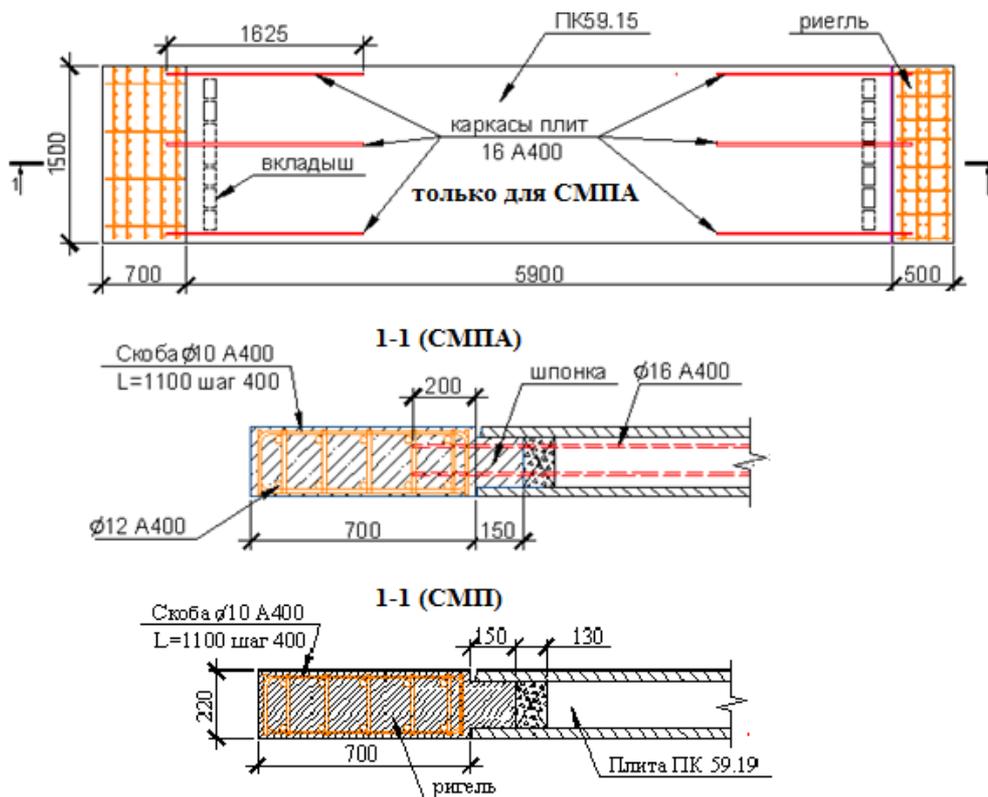


Рис. 1. Образец с выпусками продольной арматуры каркасов многопустотной плиты (СМПА)

Для оценки результатов испытаний образцов фрагментов плит графики зависимости деформаций и перемещений строились для относительной величины нагрузки, которая находилась как отношение фактической нагрузки к предельному значению нагрузки, найденному из расчета прочности многопустотной панели:

$$n = P/P_{ult}, \quad (1)$$

где  $n$  – относительная величина нагрузки,  $p$  – равномерно распределенная по площади вертикальная нагрузка, кгс/м<sup>2</sup>;  $p_{ult}$  – предельная нагрузка для многопустотной панели, найденная из расчета панели по прочности, согласно нормативным документам.

$$P_{ult} = \frac{8M_{ult}}{l_0^2 \cdot b}, \quad (2)$$

где  $M_{ult}$  – предельный момент для многопустотной панели, найденный по [11];  $l_0$  – длина многопустотной панели;  $b$  – ширина плиты.

В процессе анализа сравнивались прогибы на стыке многопустотной панели с монолитным ригелем, прогибы в пролете фрагмента сборно-монолитного перекрытия, деформации по верхней и нижней грани перекрытия на стыке многопустотной панели с ригелем, углы поворота сечения, проходящего по стыку многопустотной панели и монолитного ригеля.

Из графика зависимости деформаций от относительной нагрузки (рис. 2), видно, что значения

сжимающих деформаций по верхней грани плиты значительно меньше в образце с армированием СМПА. Растягивающие деформации по нижней грани перекрытия меньше в образце СМПА. Для образца СМП характерно скачкообразное развитие деформаций, особенно после обмятия бетона шпонки. Для образца СМПА таких скачков не наблюдается, зависимость деформаций от нагрузки близка к линейной.

Прогибы до нагрузки, составляющей 20 % от предельной, меньше в образце СМП (рис. 3). После чего прогибы в образце СМП начинают прирастать с большей скоростью, чем в образце СМПА, в результате чего прогибы в образце с неармированным стыком выше, чем в образце с армированным стыком, при этом значения прогибов в сечении стыка между образцами отличаются незначительно. После достижения предельной нагрузки по прочности плиты разница в прогибах образцов сокращается. Последнее позволяет сделать вывод, что значения пролетных и опорных моментов, возникающих в многопустотной панели, мало зависят от наличия армирования в шпоночном стыке. Продольное армирование, в первую очередь, работает на восприятие срезающих усилий [4].

Углы поворота поперечного сечения как видно из графика (рис. 4) в значительной степени меньше в образце СМПА, что свидетельствует об увеличении жесткости шпоночного стыка при наличии выпусков из многопустотной панели.

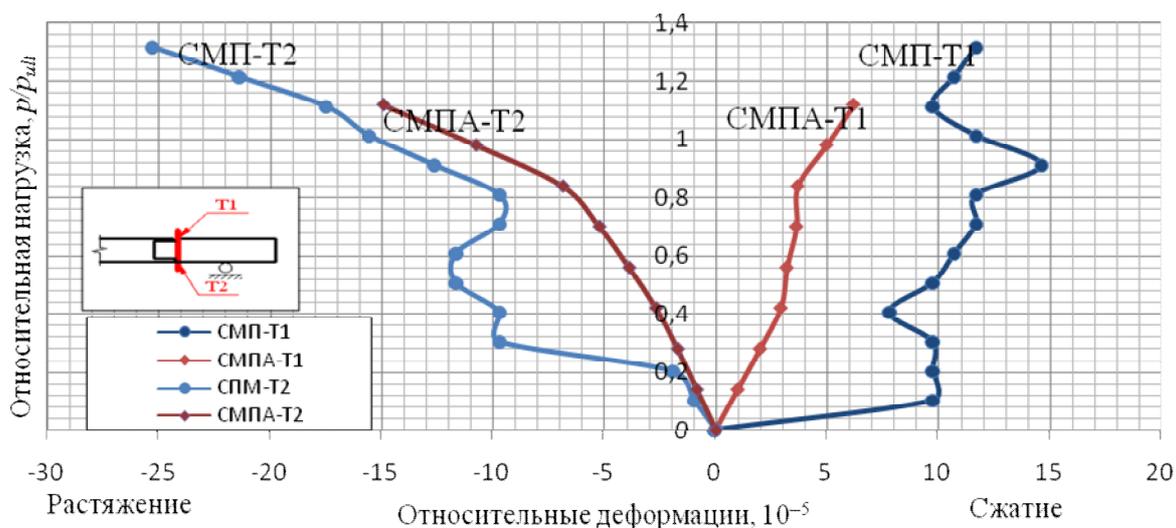


Рис. 2. График зависимости продольных деформаций на стыке многопустотной панели с монолитным ригелем: СМП-Т1 (СМП-Т2) – образец без армирования, деформации в точке Т1 (Т2); СМПА-Т1 (СМПА-Т2) – образец с армированным стыком, деформации в точке Т1 (Т2)

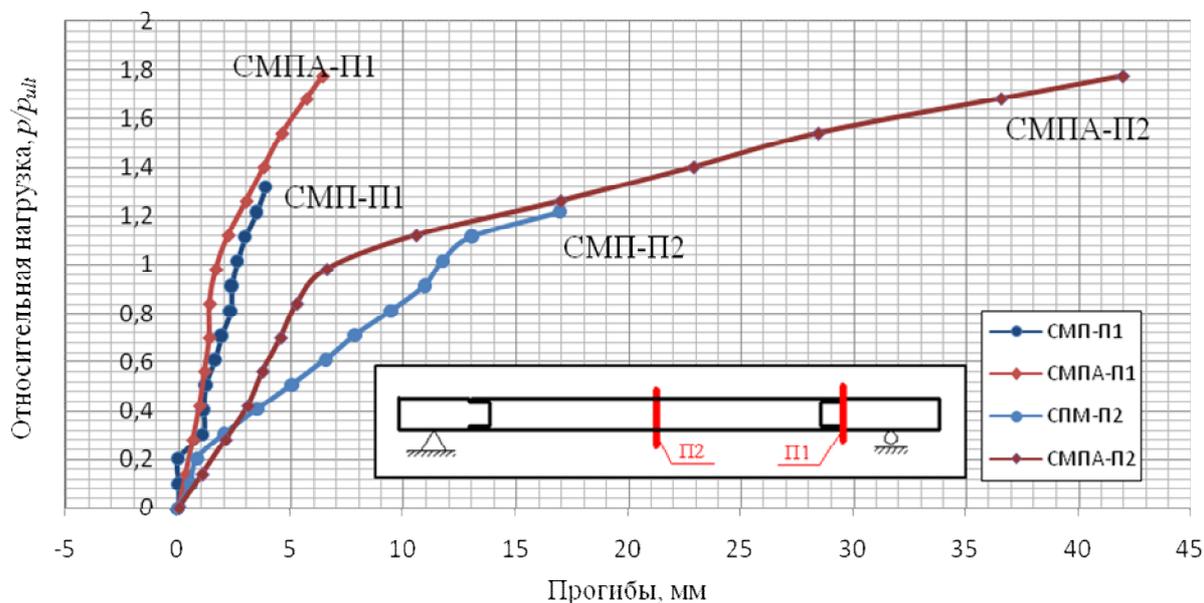


Рис. 3. График зависимости прогибов на стыке многопустотной панели с монолитным ригелем: СМП-П1 (СМП-П2) – образец без армирования, прогибы в точке П1 (П2); СМПА-П1 (СМПА-П2) – образец с армированным стыком, прогибы в точке П1 (П2)

При росте нагрузки углы поворота в образце СМПА растут нелинейно и приближаются к значениям, полученным в образце без армирования СМП.

Для оценки степени жесткости шпоночного стыка был произведен статический расчет фрагмента перекрытия СМПА как балки на шарнирных опорах и жестко защемленной по торцам. В результате чего были найдены углы поворота сечения шпоночного стыка, характерные для жесткой и шарнирной заделки, после чего было произведено сравнение с экспериментальными данными. Результаты сравнения приведены в таблице.

По полученным данным можно сделать вывод о том, что жесткость шпоночного стыка уменьша-

ется с увеличением нагрузки, при малых нагрузках она близка к жесткой заделке.

В результате анализа полученных данных были выделены три этапа работы сборно-монолитного перекрытия с новым вариантом шпоночного стыка:

- на первой стадии до нагрузки, составляющей 40 % от расчетной, перекрытие работает в упругой стадии, зависимости деформаций и прогибов от нагрузки линейные.

- на второй стадии до нагрузки составляющей 90 % от расчетной, наблюдается снижение прироста деформаций и прогибов, перекрытие работает как упругая система, зависимости деформаций и

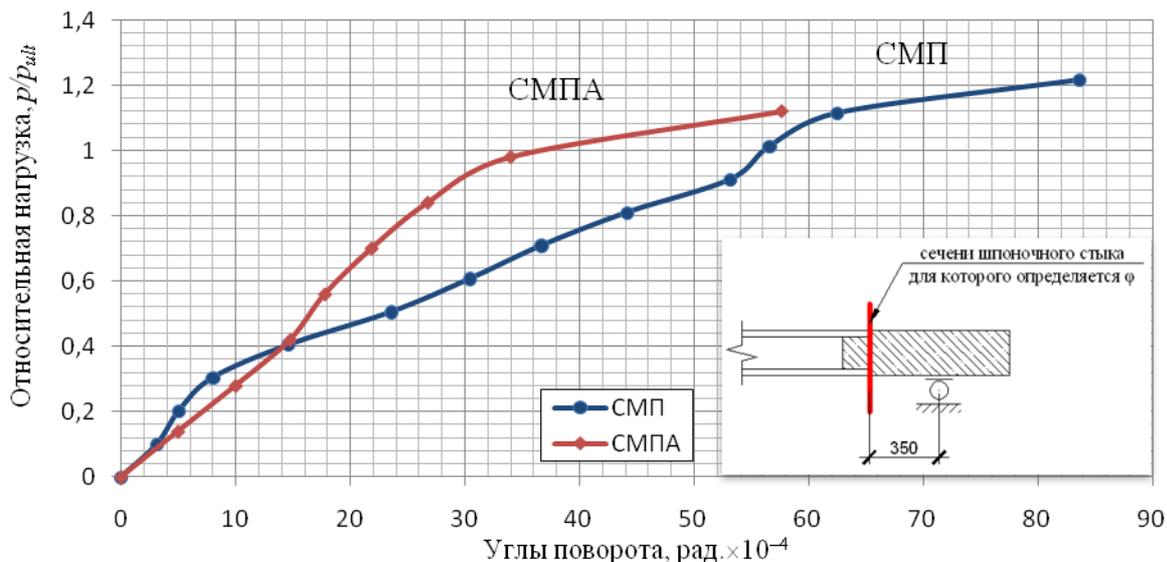


Рис. 4. График зависимости углов поворота поперечных сечений на стыке многопустотной панели с монолитным ригелем: СМП – образец без армирования; СМПА – образец с армированным стыком

#### Результаты сравнения углов поворота

$p/p_{ult}$	Углы поворота, рад $\times 10^{-4}$		
	Экспериментальные данные	При расчете схемы с жесткой заделкой	При расчете схемы с шарнирным опиранием
0,230	10,00	0,253	22,746
0,415	14,759	0,370	33,461
0,599	17,793	0,487	42,312
0,783	21,862	0,604	54,440
1,013	34,00	0,604	54,440
1,013	57,655	0,709	64,784

прогибов от нагрузки близки к линейным. Уменьшение деформаций возможно объяснить полным обмятием многопустотной плиты шпонок и включением в работу на кручение ригелей, что приводит к временному повышению жесткости сборно-монолитного перекрытия на изгиб. Для сжимающих деформаций по верхней грани плиты на стыке и в пролете характерно практически полное прекращение роста.

– на третьем этапе (до момента разрушения) происходит нелинейный прирост деформаций и прогибов, что свидетельствует о развитии пластических деформаций.

Сравнительный анализ результатов натурных испытаний образцов сборно-монолитного перекрытия со шпоночными стыками СМП, СМПА позволил сделать вывод о том, что анкеровка выпусков продольной арматуры многопустотных панелей в тело ригеля увеличивает жесткость шпоночного стыка и способствует снижению прогибов и деформаций в элементах перекрытия. Перекрытие со шпоночными стыками работает в двух направлениях, перераспределяя нагрузку между многопустотными плитами за счет бетонных шпонок на боко-

вых поверхностях плит, что также способствует снижению его деформативности [5–8].

Отсутствие выпусков продольной арматуры плиты, заанкеренных в монолитный ригель, приводит к хрупкому разрушению перекрытия из-за среза шпонки под действием поперечной силы и опорного момента [9, 10].

Жесткость армированного шпоночного стыка уменьшается с увеличением нагрузки.

Значения пролетных и опорных моментов, возникающих в многопустотной панели, мало зависят от наличия армирования в шпоночном стыке [4]. Продольное армирование работает на восприятие срезающих усилий в шпонке.

Анкеровка в ригель выпусков продольной арматуры каркасов многопустотной панели обеспечивает совместную работу элементов сборно-монолитного перекрытия, в результате чего характер развития деформаций перестает иметь скачкообразный вид. Таким образом, наличие выпусков продольной арматуры дополнительных каркасов, в опорной зоне многопустотной плиты, позволяет повысить прочность и надежность сборно-монолитного перекрытия.

### Литература

1. Патент № 126339 на полезную модель. Железобетонный сборно-монолитный каркас здания / А.А. Варламов, О.В. Пивоварова. – 2012.
2. Новая универсальная каркасная система многоэтажных зданий / А.И. Мордич, Р.И. Вигдорчик, В.Н. Белевич, А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1999. – № 1. – С. 2–4.
3. Патент на полезную модель 41752 РФ. Каркас многоэтажного здания / В.А. Бахарев // Оpubл. 10.11.2004.
4. Люленко, Ю.К. Исследование работы соединений с петлевыми связями между монолитной стеной и сборными плитами перекрытий / Ю.К. Люленко, М.Е. Соколова // Монолитное домостроение: сб. ст. – М., 1982. – С. 64–79.
5. Байков, В.Н. Совместная работа железобетонных плит в сборном настиле при продольных полосовых нагрузках / В.Н. Байков, К.М. Кочунов, В.А. Шевченко // Бюллетень технической информации САКБ, АПУ Мосгорисполкома. – М., 1958. – № 2.
6. Байков, В.Н. Расчет сборного панельного перекрытия на местную продольную линейно-сосредоточенную нагрузку / В.Н. Байков // Проектирование железобетонных конструкций / К.К. Антонов, В.П. Артемьев, В.Н. Байков и др. – М.: Стройиздат, 1966.
7. Айвазов, Р.Л. Сборное перекрытие опертое по контуру и работающее с поперечным распором / А.В. Айвазов, И.В. Лапицкий // Бетон и железобетон. – 1991. – № 11. – С. 7–9.
8. Арзуманян, К.М. О совместной работе многопустотных панелей в перекрытии при неравномерном нагружении / К.М. Арзуманян, Р.Л. Айвазов, В.Г. Крамарь // Повышение эффективности и качества бетона и железобетона. – Ереван: Айстан, 1983.
9. Гуров, Е.П. Анализ и предположения по конструктивной надежности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б.1.020.1-7 / Е.П. Гуров // Бетон и железобетон. – 2012. – № 2. – С. 6–11.
10. Гуров, Е.П. Анализ и предположения по конструктивной надежности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б.1.020.1-7 (в системе «АРКОС») / Е.П. Гуров // Бетон и железобетон. – 2012. – № 5. – С. 16–18.
11. СП 52-1 02-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. – М.: ФГУП ЦПП, 2005.

**Варламов Андрей Аркадьевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры Архитектурного проектирования и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), mgrp@mgn.ru

**Никитина Ольга Вячеславовна**, ассистент кафедры строительного производства и автомобильных дорог, Институт строительства, архитектуры и искусства, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), olga-pivovarova@inbox.ru

Поступила в редакцию 23 апреля 2015 г.

## ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESEARCH DATA OF PRECAST SLABS OPERATION WITH A NEW VARIANT OF SPLINED JOINT

*A.A. Varlamov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, mgrp@mgn.ru*

*O.V. Nikitina, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, olga-pivovarova@inbox.ru*

The authors have conducted field tests of precast slab models with a new variant of splined joint, characterized by the presence of frames in the core zone of hollow-core slabs with free length of longitudinal reinforcement. The comparative analysis on operation of slab samples with splined joints, from slabs with frames in the core zone and without it is conducted. The analysis results show that the presence of free length of longitudinal reinforcement of hollow-core slab frames can improve the strength and stiffness of precast slabs. It's concluded that stiffness of a new variant of the splined joint is higher than that of analogues and decreases with increasing load, at small loads it's close to the anchorage. Based on experimental data three stages of slab operation are identified.

At the first stage the slab works as an elastic system. At the second stage it works as a statically indeterminate system with constrained deformations. The crossbars run on bending with torsion that leads to the increase of stiffness of precast slabs for bending in filled-in panels of hollow-core slabs. At the third stage the growth of plastic deformation is observed. The authors have drawn a conclusion that anchoring to crossbars of free length of longitudinal reinforcement of hollow-core panel frames enables collaboration of precast slab elements.

*Keywords: precast slab, splined joint, hollow-core slabs.*

### References

1. Varlamov A.A., Pivovarova O.V. *Zhelezobetonnyy sborno-monolitnyy karkas zdaniya* [Pre-cast reinforced concrete frame building]. Patent RF, no. 126339, 2012.
2. Mordich A.I., Vigdorichik R.I., Belevich V.N., Zalesov A.S. [New universal frame system of multi-storey buildings]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1999, no. 1, pp. 2–4 (in Russ).
3. Bakharev V.A. *Karkas mnogoetazhnogo zdaniya* [Frame high-rise building]. Patent RF, no.41752, 2004.
4. Lyulenko Yu.K., Sokolova M.E. [The study sites mates with loop ties monolithic wall with composite slabs]. *Monolitnoe domostroenie: sbornik statey* [Monolithic housing construction: collected articles]. Moscow, 1982, pp. 64–79 (in Russ).
5. Baykov V.N., Kochunov K.M., Shevchenko V.A. *Sovmestnaya rabota zhelezobetonnykh plit v sbornom nastile pri prodol'nykh polosovykh nagruzkakh* [Joint work concrete panels in precast slab with longitudinal strip loads]. *Byulleten' tekhnicheskoy informatsii SAKB, APU Mosgorispolkoma* [Technical information Bulletin of SACB, APU Moscow city]. Moscow, 1958, no. 2.
6. Baykov V.N. *Raschet sbornogo panel'nogo perekrytiya na mestnyuyu prodol'nyuyu lineynoso-sredotochennuyu nagruzku* [Calculation of the precast panel overlapping at the local longitudinal linear-concentrated load]. *Proektirovanie zhelezobetonnykh konstruksiy* [The design of reinforced concrete structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1966. 380 p.
7. Ayvazov A.V., Lapitskiy I.V. [Precast floor supported on a loop and work with cross-thrust]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. Moscow, 1991, no. 11, pp. 7–9 (in Russ).
8. Arzumanyan K.M., Ayvazov P. L., Kramar' V.G. *O sovmestnoy rabote mnogopustotnykh paneley v perekrytii pri neravnomernom nagruzhении* [Joint work of hollow-core slabs under the action of unbalanced loads]. *Povyshenie effektivnosti i kachestva betona i zhelezobetona* [Improving the efficiency and quality of concrete and reinforced concrete]. Yerevan, Istan Publ., 1983.
9. Gurov E.P. [Analysis and estimates of structural reliability and safety of ready-monolithic slabs in the frame series B.1.020.1-7]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. Moscow, 2012, no. 2, pp. 6–11 (in Russ).
10. Gurov E.P. [Analysis and estimates of structural reliability and safety of ready-monolithic slabs in the frame series B.1.020.1-7 (in the "ARCOS")]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. Moscow, 2012, no. 5, pp. 16–18 (in Russ).
11. *SP 52-1 02-2004. Predvaritel'no napryazhennye zhelezobetonnye konstruksii* [Set of rules 52-1 02-2004. Prestressed concrete structures]. FGUP TsPP, 2005.

*Received 23 April 2015*

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Варламов, А.А. Анализ экспериментальных данных исследования работы сборно-монолитного перекрытия с новым вариантом шпоночного стыка / А.А. Варламов, О.В. Никитина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 20–25.

### FOR CITATION

Varlamov A.A., Nikitina O.V. Analysis of Experimental Research Data of Precast Slabs Operation with a New Variant of Splined Joint. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 3, pp. 20–25. (in Russ.)