

# Строительные конструкции, здания и сооружения

УДК 624.01.04 + 69.057.12-413

DOI: 10.14529/build200102

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЗАМКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ ДО ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН

*М.В. Тарасов, А.А. Карякин, И.С. Дербенцев*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Расчетная схема крупнопанельного здания включает в себя элементы перекрытий, стеновых панелей и стыков между ними. Для корректного моделирования необходимо знать характеристики жесткости и прочности стыков на растяжение, сжатие и сдвиг. В виду отсутствия в нормативной и справочной литературе универсальных формул для определения прочности и жесткости стыков различных типов, необходимо производить дополнительные исследования.

В 2014 году был разработан новый тип вертикального монолитного стыка крупнопанельных зданий – замковое соединение стеновых панелей, который обладает значительной прочностью и жесткостью. Замок состоит из П-образной скобы, соединяющей петлевые выпуски на торцах панелей, и стальной пластины, соединяющей концы скобы. Для полноценного применения стыка необходимо правильно оценивать его прочность и жесткость. Экспериментальные исследования работы стыка на растяжение показали двухлинейный характер его работы (с повышенной жесткостью до образования трещин и с пониженной после). Для расчета крупнопанельных зданий при основных сочетаниях эксплуатационных нагрузок достаточно моделирования работы стыка в пределах первого участка.

Целью данного исследования является изучение работы замкового соединения на растяжение до образования трещин. В работе проводится сопоставление результатов численного моделирования с результатами испытания натуральных образцов и определяются значения жесткости и момента образования трещин для стыков с другими значениями прочности бетона омоноличивания и диаметрах петлевых выпусков.

Исследование выполнялось с использованием плоской конечно-элементной модели в ПК Лира-САПР.

Результаты расчета модели стыка в целом согласуются с результатами испытаний натуральных образцов, были определены жесткость и нагрузка трещинообразования для стыков с различными параметрами прочности бетона и диаметра петлевого выпуска.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании крупнопанельных зданий с данным типом стыка.

*Ключевые слова:* крупнопанельные здания, жесткость стыков, прочность стыков, испытания на растяжение, замковое соединение, петлевые соединения, шпоночные стыки.

### Введение

В 2014 году АО «ЦНИИЭП жилища» была предложена новая конструкция бессварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий (замковое соединение), воспринимающих растягивающие и сдвигающие усилия. Замковое соединение представляет собой монолитный шпоночный стык с механическим зацеплением П-образной скобы из арматурной стали за петлевые выпуски на торцах смежных панелей с усилением стальной пластиной, соединяющей концы скобы от разгибания под действием нагрузки [1]. Общий вид стыка представлен на рис. 1.

В соответствии с предварительными исследованиями, проведенными разработчиками, стык обладает значительными прочностными и жестко-

стными характеристиками, может использоваться при проектировании зданий с широким шагом несущих конструкций и для проектирования в сейсмических районах [1–3].

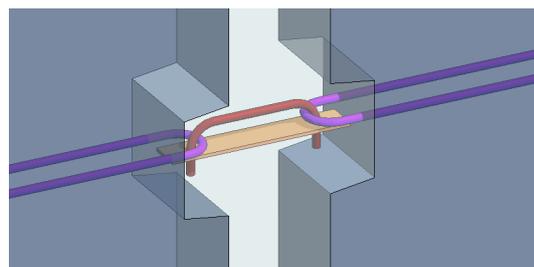


Рис. 1. Общий вид замкового соединения стеновых панелей

Межпанельные стыки обеспечивают совместную работу элементов крупнопанельного здания. При создании расчетной схемы крупнопанельного здания необходимо учитывать, что связи между панелями не являются абсолютно жесткими или шарнирными, необходимо учитывать их податливость. В современных программных комплексах для расчета строительных конструкций стены и перекрытия моделируются плоскими конечными элементами, а связь между ними осуществляется с использованием специальных конечных элементов упругой связи между узлами (например, КЭ 55 или КЭ 255 в ПК «Ли́ра-САПР»), с помощью которых учитывается работа стыков [4–8]. При этом необходимо знать его жесткость и предельное усилие при сдвиге, растяжении и сжатии.

В данной статье рассматривается работа стыка на растяжение. Поскольку в нормативной и справочной литературе отсутствует универсальная методика расчета характеристик стыков при растяжении [9], необходимо его экспериментальное и численное исследование.

В результате экспериментального исследования натуральных образцов стыка на растяжение была выявлена его двухэтапная работа [10]. До появления трещин в образце в области соединения скобы с петлей стык работает с повышенной жесткостью. Предполагается, что до появления значительных деформаций в образце (до появления трещин в бетоне образца) происходит выборка зазора между скобой и петлей, работа стыка характеризуется выдергиванием петли из бетона омоноличивания стыка. После появления трещин в бетоне образца, за счет значительных деформаций образца работа стыка определяется работой скобы и пластины с последующим разрушением вследствие разрыва скобы.

Двухэтапную работу стыка следует учитывать при расчете на особые воздействия (например, сейсмические), так как в этом случае при достижении усилия образования трещин происходит ослабление связей без разрушения стыка и снижение усилий от сейсмической нагрузки за счет увеличения общей деформативности здания [3].

При основных эксплуатационных нагрузках стык работает в соответствии с первым этапом (до образования трещин). В этом случае прочность и жесткость стыка зависят от класса бетона образца, что было показано при испытании натуральных образцов. Подробный анализ результатов экспериментального исследования замкового соединения стеновых панелей при растяжении представлен в работе [10].

Целью работы является выявление характера взаимодействия стального петлевого выпуска и бетона омоноличивания стыка для оценки его расчетных характеристик (жесткости и трещиностойкости).

Исследование проводится с использованием метода конечных элементов. Для определения ха-

рактеристик стыка производится расчет численных моделей стыка.

### Методика исследования

Как отмечено выше, до образования трещин в бетоне образца работа стыка характеризуется работой петлевого выпуска на выдергивание из бетона. С целью проведения численного анализа работы образца была построена плоская конечно-элементная модель монолитной в бетоне петли. Размеры модели приняты в соответствии с испытанными образцами [10]. Выпуски выполнялись из арматуры А500С, которая обладает значительной прочностью и при этом является достаточно пластичной, что позволяет применять ее в качестве петель [11, 12].

Модель строилась в ПК «Ли́ра-САПР»: петля смоделирована стержневыми конечными элементами (КЭ10) круглого сечения, бетон образца – конечными элементами плоского напряженного состояния (балки-стенки – КЭ21, КЭ22, КЭ30), контакт между петлей и бетоном – конечными элементами упругой связи с предельным усилием (КЭ255). Размеры конечных элементов приняты от 2,5 до 8 мм.

Диаметр сечения конечных элементов петли принимается равным номинальному диаметру арматуры, модуль упругости – модулю упругости арматуры в соответствии с СП 63.13330.2012 [13].

Толщина конечных элементов бетона принята равной высоте опытных образцов (высоте шпонки – 13 см), в местах расположения петли толщина бетона уменьшена на величину средней по площади толщины сечения петли. Модуль упругости бетона элемента принят равным начальному модулю упругости соответствующего класса, коэффициент поперечной деформации Пуассона принят равным 0,2 [13].

Конечные элементы упругой связи моделировали сцепление арматуры петли с бетоном. Конечный элемент характеризуется жесткостью связи на сдвиг (жесткость в продольном направлении) и на растяжение-сжатие (жесткость в поперечном направлении). Жесткость связей определялась на основании исследования А.А. Карякина [14], использовался начальный модуль сцепления арматуры с бетоном. Жесткость элементов упругой связи принималась равной среднему начальному модулю сцепления по различным точкам по длине стержня. Так как вычисления [14] основаны на экспериментальном **исследовании** арматуры А-III (А400) [15], модуль сцепления был скорректирован для учета особенностей профиля арматура А500С [16]. Для корректировки использовались исследования М.М. Холмянского [17], в соответствии с которым жесткость сцепления прямо зависит от отношения глубины профилировки к ее шагу [17].

Работа упругих связей контакта на растяжение в направлении, нормальном к продольной оси

## Строительные конструкции, здания и сооружения

петли, не учитывается (принято нулевое предельное усилие на растяжение).

В силу симметрии стыка рассматривается расчетная схема половины образца, на узлы на оси симметрии накладываются линейные связи по направлению оси  $X$  (перпендикулярно оси симметрии) и угловые связи вокруг оси  $Y$  (в плоскости схемы). На концах петли смоделирована скользящая заделка (приложены угловые связи вокруг оси  $Y$  и линейные по направлению оси  $Z$ , перпендикулярной направлению действия нагрузки). Расчетная схема представлена на рис. 2.

Для сопоставления результатов численного моделирования с результатами экспериментального исследования [10] расчет выполнялся для образцов с диаметром петли 16 мм из бетона классов В30 и В40 (как наиболее близких к фактическому классу бетона исследованных образцов).

Для определения характеристик стыков другими параметрами (диаметром петлевых выпусков

и класса бетона омоноличивания) также строились соответствующие численные модели. Были построены модели для стыков с диаметром петли 12 и 14 мм и бетона омоноличивания класса В15–В40.

Расчет производился при общей растягивающей нагрузке 1 т, приложенной по 0,5 т к каждому концу петли.

### Результаты исследования и их анализ

В результате расчета модели стыка были определены максимальные перемещения узлов в направлении действующей нагрузки (вдоль оси  $X$ ), эпюры внутренних силовых факторов в конечных элементах петли, главные и эквивалентные напряжения в бетоне стыка.

Для сопоставления с экспериментальными данными рассмотрены модели стыков с петлей диаметром 16 мм. Результаты расчета модели стыка из бетона В30 представлены на рис. 3–6.

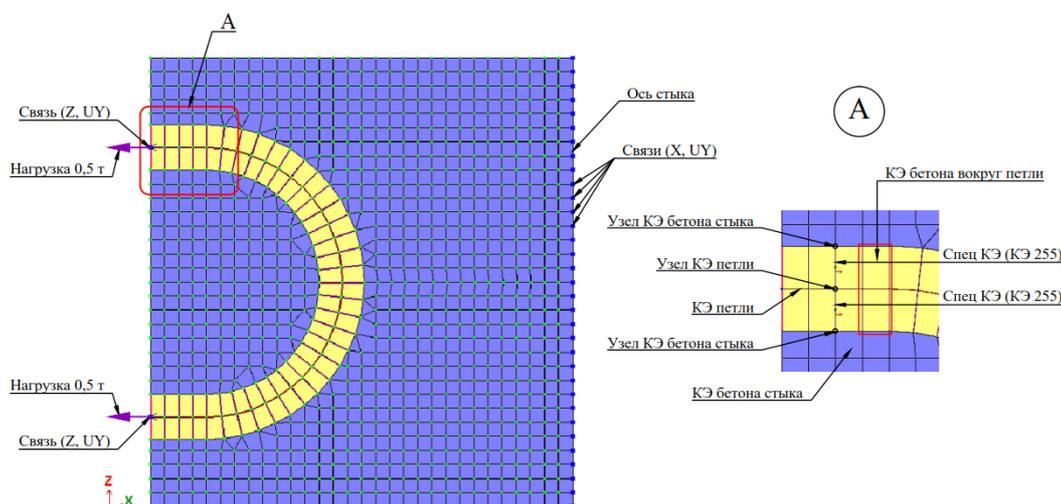


Рис. 2. Расчетная схема половины стыка в ПК «Ли́ра-САПР»

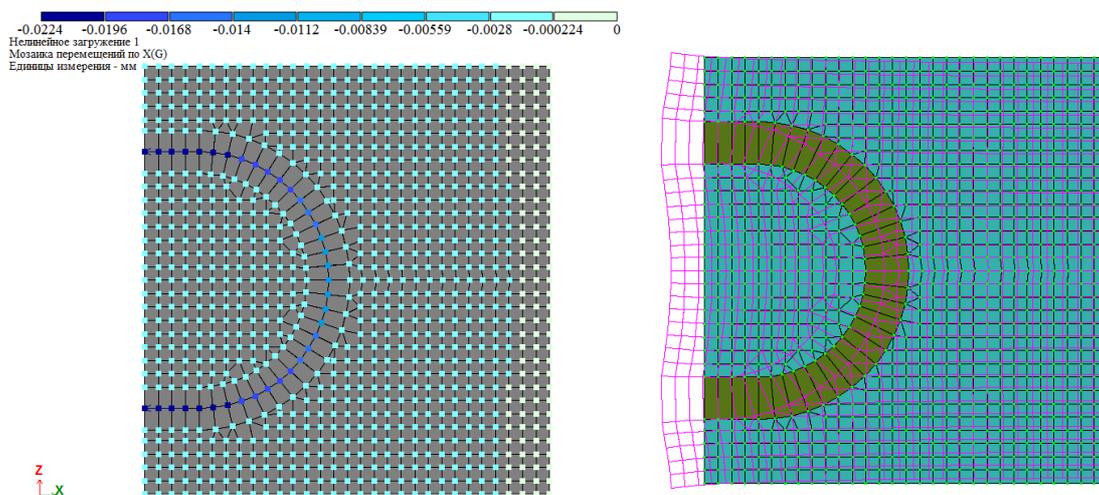


Рис. 3. Перемещения узлов стыка (бетон В30): мозаика перемещений узлов вдоль оси  $X$  (слева) и деформации бетона образца поверх исходной схемы (справа)

Максимальные перемещения узлов (перемещения концов петли) составили 0,0224 мм и 0,0195 мм соответственно для класса бетона В30 и В40. Жесткость стыка на растяжение в целом определяется как отношение приложенной к концам петли нагрузки к удвоенному перемещению (так как рассматривается половина стыка) концов петли и составила для бетона В30 и В40 соответственно  $K_t = 22,35$  т/мм и  $K_t = 25,64$  т/мм.

В обоих случаях (в образце из бетона В30 и в образце из бетона В40) максимальные эквивалентные напряжения (по IV теории прочности [18]) возникают на концах петель (в местах приложения нагрузки). Усилия в петлях составили:  $N = 0,477$  т,  $M = 0,00121$  т·м,  $Q = 0,0729$  т – для образца В30;  $N = 0,476$  т,  $M = 0,00115$  т·м,  $Q = 0,0694$  т – для образца В40.

Максимальное эквивалентное напряжение на концах петли равно максимальному растягивающему напряжению от действия продольной силы и изгибающего момента и составило при нагрузке 1 т

для образцов из бетона В30 и В40:  $\sigma = 5390$  т/м<sup>2</sup> (52,86 МПа) и  $\sigma = 5233$  т/м<sup>2</sup> (51,32 МПа) соответственно. При расчетном сопротивлении арматуры А500 ( $R_s = 435$  МПа [2]) предельная нагрузка по несущей способности (по достижении предела текучести) петли составляет 8,229 т и 8,477 т для стыка из бетона В30 и В40 соответственно.

Для оценки трещиностойкости бетона образца используются главные и эквивалентные напряжения. Эквивалентные напряжения определяются по теории прочности Г.А. Геніева [19] и вычисляются в ПК «Лира-САПР» автоматически, в качестве предельных напряжений при растяжении и сжатии приняты нормативные сопротивления бетона в соответствии с СП [13]. Мозаики главных и эквивалентных напряжений для образца из бетона В40 представлены на рис. 5 и 6 соответственно. Также на рис. 6 показано направление главных площадок, в которых возникают максимальные напряжения, по которым можно судить о направлении трещин.

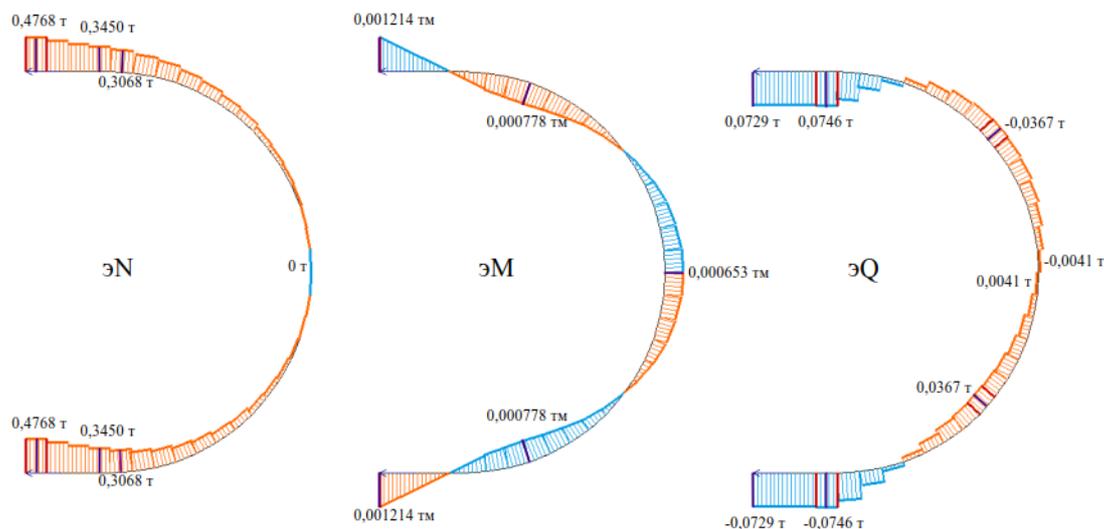


Рис. 4. Эпюры усилий в петле (бетон В30)

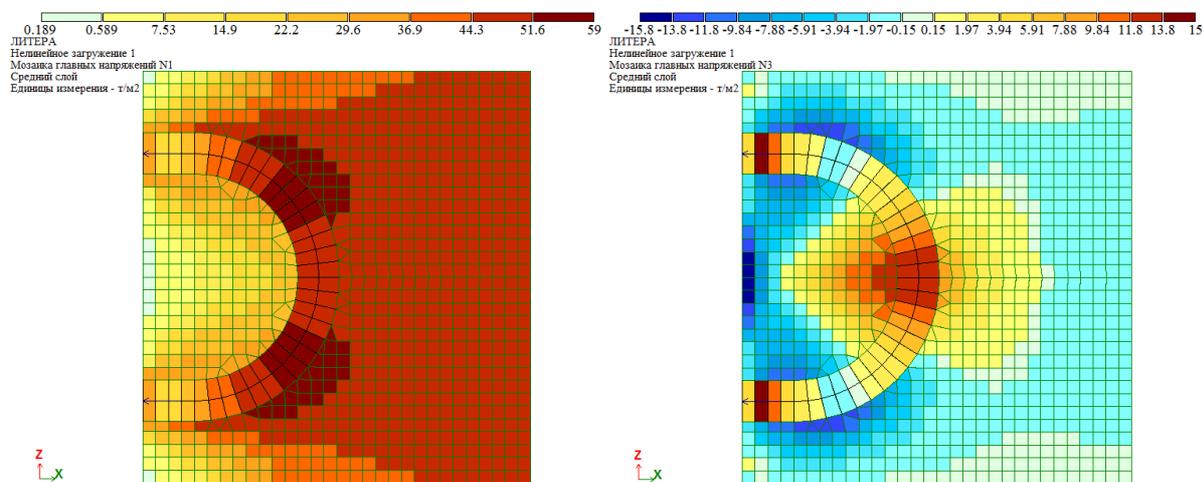


Рис. 5. Главные напряжения в бетоне образца (бетон В30)

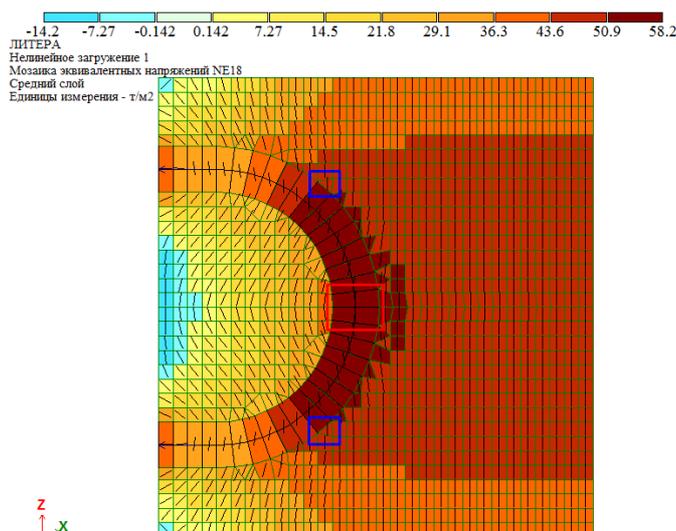


Рис. 6. Эквивалентные напряжения в бетоне образца по теории Г.А. Гениева (бетон В30)

Максимальные эквивалентные напряжения в образцах при нагрузке 1 т составили 58,16 т/м<sup>2</sup> и 57,65 т/м<sup>2</sup>, возникают на продольной оси стыка в месте загиба петли (на рис. 6 элементы выделены красной рамкой). Таким образом, в соответствии с теорией прочности Гениева усилие образования трещин в бетоне образца составило 3,06 т и 3,71 т – для бетона В30 и В40 соответственно.

Для определения напряжений, соответствующих образованию трещин в бетоне, также использовано условие образования трещин Н.И. Карпенко [20]. Условие образования трещин при плоском напряженном состоянии преобразовано в условную теорию прочности с эквивалентным напряжением:

$$\sigma_{eq} = \frac{\sigma_{max}}{k_p} \leq R_{bt,n},$$

где  $\sigma_{max}$  – максимальное главное напряжение в точке;  $R_{bt,n}$  – нормативное сопротивление бетона растяжению;  $k_p$  – коэффициент, учитывающий влияние минимального нормального напряжения  $\sigma_{min}$  на образование трещин, зависит от минимального нормального напряжения, прочности бетона и толщины элемента [20].

Максимальные эквивалентные напряжения в бетоне по теории Н.И. Карпенко составили 58,94 т/м<sup>2</sup> и 59,08 т/м<sup>2</sup> для образцов из бетона В30 и В40 соответственно и возникают ближе к краям образца (на рис. 6 элементы выделены синими рамками). Образование трещин в образцах в соответствии с теорией Карпенко происходит при нагрузках 3,03 т и 3,62 т.

Усилия образования трещин, определенные по теориям Г.А. Гениева и Н.И. Карпенко, различаются незначительно, но теория Н.И. Карпенко дает меньшее значение.

В результате расчета можно сделать вывод о том, что численное моделирование согласовывается с результатами эксперимента. Разница экспериментальных значений усилия образования трещин и жесткости стыка и результатов численного моделирования для образцов из бетона В40 оказалась незначительной (не более 10 %). Для образцов из бетона В30 результаты сильно разнятся за счет выходящих значений в экспериментальном исследовании, что требует проведения дополнительных испытаний. Также стоит отметить, что максимальные эквивалентные напряжения возникают в области вершины петли, что совпадает с областью возникновения трещин в испытанных образцах [10].

Для оценки прочности и жесткости стыков с другими размерами петель при различных классах бетона выполнялся расчет соответствующих моделей. Перемещения узлов, главные и эквивалентные напряжения в бетоне для образца из бетона В30 при диаметре петлевого выпуска 12 мм при нагрузке 1 т приведены на рис. 7–9.

Результаты при других параметрах стыка приведены в табл. 1 и 2 (где В – класс бетона стыка,  $\Delta_{max}$  – максимальное перемещение концов петли,  $\sigma_{eq}$  (Г) – эквивалентное напряжение по теории Гениева,  $\sigma_{eq}$  (К) – эквивалентное напряжение по теории Карпенко,  $\sigma_s$  – напряжение на концах петли,  $K_t$  – жесткость стыка на растяжение,  $P_{crc}$  (Г) – нагрузка образования трещин по теории Г.А. Гениева,  $P_{crc}$  (К) – нагрузка образования трещин по теории Н.И. Карпенко,  $P_{yl}$  – нагрузка, соответствующая пределу текучести петли).

Результаты расчета также показывают увеличение нагрузки образования трещин и жесткости при увеличении класса бетона стыка. При этом можно заметить, что эта зависимость является практически линейной. Также стоит отметить, что увеличение диаметра петли приводит к увеличению

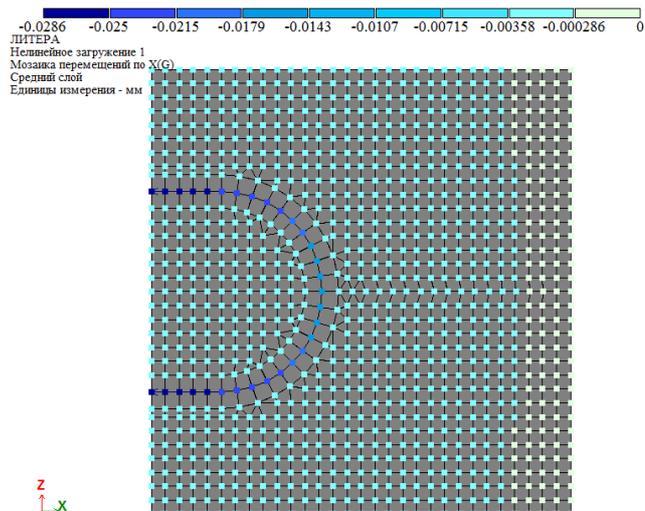


Рис. 7. Мозаика перемещений узлов вдоль оси X (бетон В30, петлевой выпуск 12 мм)

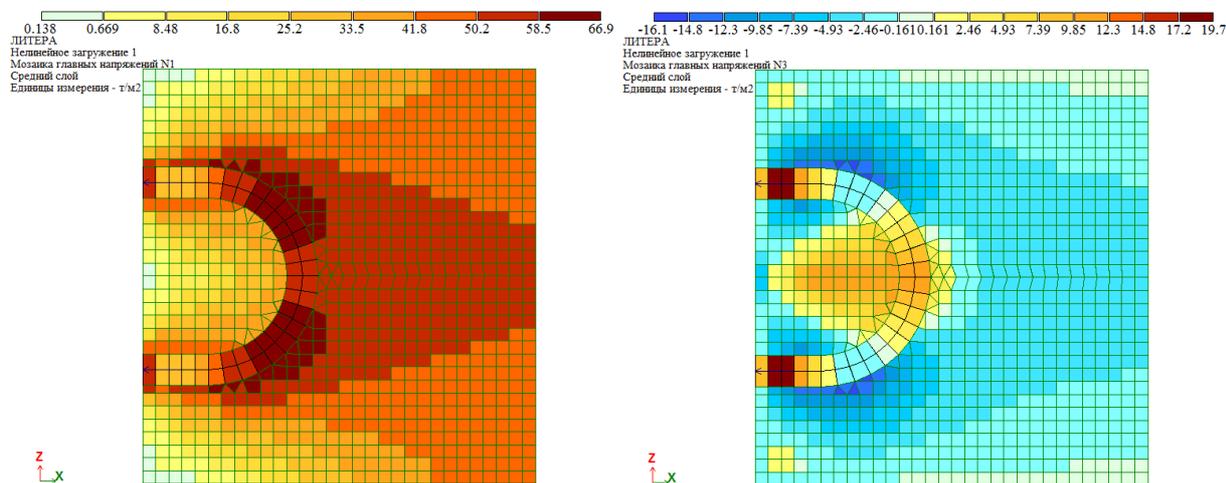


Рис. 8. Главные напряжения в бетоне образца (бетон В30, петлевой выпуск 12 мм)

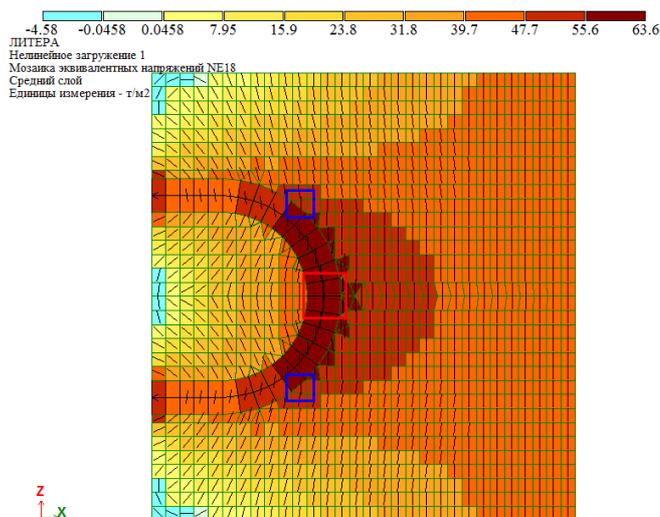


Рис. 9. Эквивалентные напряжения в бетоне образца по теории Г.А. Гениева (бетон В30, петлевой выпуск 12 мм)

Результаты расчета стыка с петлевыми выпусками 12 мм

В, МПа	$\Delta_{\max}$ , мм	$\sigma_{\text{eq}}(\Gamma)$ , Т/М <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{eq}}(K)$ , Т/М <sup>2</sup>	$\sigma_s$ , МПа			$K_t$ , Т/мм	$P_{\text{cre}}(\Gamma)$ , Т	$P_{\text{cre}}(K)$ , Т	$P_{\text{yl}}$ , Т
				от N	от M	сумм.				
15	0,0382	65,03	66,72	41,12	42,94	84,06	13,10	1,72	1,68	5,17
20	0,0341	64,46	66,78	41,07	41,00	82,07	14,65	2,14	2,06	5,30
25	0,0311	64,00	66,83	41,03	39,24	80,27	16,09	2,47	2,37	5,42
30	0,0286	63,57	66,87	40,99	37,63	78,62	17,48	2,81	2,67	5,53
35	0,0266	63,16	66,91	40,95	36,17	77,12	18,77	3,15	2,97	5,64
40	0,0250	62,88	66,94	40,91	34,81	75,72	20,02	3,41	3,20	5,74

Таблица 2

Результаты расчета стыка с петлевыми выпусками 14 мм

В, МПа	$\Delta_{\max}$ , мм	$\sigma_{\text{eq}}(\Gamma)$ , Т/М <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{eq}}(K)$ , Т/М <sup>2</sup>	$\sigma_s$ , МПа			$K_t$ , Т/мм	$P_{\text{cre}}(\Gamma)$ , Т	$P_{\text{cre}}(K)$ , Т	$P_{\text{yl}}$ , Т
				от N	от M	сумм.				
15	0,0319	60,26	61,15	30,38	35,03	65,41	15,66	1,86	1,83	6,65
20	0,0285	59,82	61,21	30,35	33,59	63,94	17,52	2,30	2,25	6,80
25	0,0260	59,44	61,27	30,32	32,29	62,61	19,24	2,66	2,58	6,95
30	0,0239	59,07	61,32	30,29	31,09	61,38	20,88	3,02	2,91	7,09
35	0,0223	58,71	61,37	30,27	29,99	60,26	22,43	3,39	3,24	7,22
40	0,0209	58,47	61,42	30,24	28,97	59,21	23,92	3,66	3,49	7,35

жесткости стыка и предельной нагрузки до образования трещин.

Предельное усилие по образованию трещин и жесткость стыка значительно превосходят аналогичные значения для стандартных петлевых стыков, в которых при небольших нагрузках происходит разгибание скобы с дальнейшим разрушением бетона стыка [21]. В замковом соединении пластина препятствует разрушению бетона скобой, что позволяет на первом этапе не рассматривать работу элемента замка до выборки зазора между ними и петлевыми выпусками.

### Заключение

При численном исследовании замкового соединения стеновых панелей на растяжение до образования трещин были произведены расчеты конечно-элементных моделей замкового стыка. Результаты расчета были сопоставлены с результатами испытаний натуральных образцов, обнаружено сходство как в расположении трещин, так и в численных значениях характеристик стыка. Также определены характеристики жесткости и трещиностойкости стыка при различных классах бетона стыка и диаметрах петлевых выпусков. Результаты исследования могут быть использованы при расчете и проектировании крупнопанельных зданий.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на уточнение рассмотренной методики, а также на исследование работы стыка с трещинами для использования в расчетах зданий при особых воздействиях.

### Благодарности

При проведении исследования использовались ресурсы ПВК лаборатории суперкомпьютерного моделирования ЮУрГУ.

### Литература

1. Блажко, В.П. Замок для соединения конструктивных элементов панельного здания / В.П. Блажко // *Жилищное строительство*. – 2014. – № 1–2. – С. 3–6.
2. Проектирование жилых многоквартирных зданий с широким шагом несущих конструкций, обеспечивающих свободную планировку: методическое пособие. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве», 2017. – 106 с.
3. Блажко, В.П. О проектировании панельных зданий, адаптированных к технологиям фирмы EBAWE / В.П. Блажко. – <http://raee.su/images/doklady2015/7.pdf>
4. СП 335.1325800.2017. Свод правил. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2017. – 82 с.
5. Дербенцев, И.С. Несущая способность и деформативность шпоночных соединений с петлевыми гибкими связями в стыках крупнопанельных многоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук / И.С. Дербенцев. – Челябинск, 2014. – 158 с.
6. Шапиро, Г.И. К вопросу о построении расчетной модели панельного здания / Г.И. Шапиро, Р.В. Юрьев // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2004. – № 12. – С. 32–33.
7. Данель, В.В. Конечноэлементная модель крупнопанельного здания / В.В. Данель // *Вестник МГСУ*. – 2011. – № 2. – С. 148–153.
8. Водопьянов, Р.Ю. Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК ЛИРА-САПР 2017 / Р.Ю. Водопьянов // *Жилищное строительство*. – 2017. – № 3. – С. 42–48.

9. Данель, В.В. Анализ формул для определения жесткости при растяжении монолитного бетонного стыка двух железобетонных панелей, пересекаемого непрерывными арматурными стержнями / В.В. Данель // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2010. – № 3. – С. 4–13.

10. Kariakin, A.A. *Experimental and Numerical Research on Tensile Performance of Inter-Panel Fastener Joints of Large-Panel Buildings* / A.A. Kariakin, I.S. Derbentcev, M.V. Tarasov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 262, 012046.

11. Тихонов, И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Пособие по проектированию / И.Н. Тихонов. – М.: НИЦ «Строительство», 2007. – 170 с.

12. Проектирование железобетонных конструкций с применением сварных сеток и каркасов заводского изготовления: методическое пособие. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве», 2016. – 261 с.

13. СП 63.13330.2018. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003. – М.: Минстрой России, 2018. – 143 с.

14. Карякин, А.А. Расчет железобетонных балок методом конечных элементов с учетом пластичности бетона, образования трещин,

дискретного расположения арматуры и ее сцепления с бетоном: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Карякин. – Свердловск, 1979. – 289 с.

15. ГОСТ 5781-82. Межгосударственный стандарт. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 10 с.

16. ГОСТ Р 52544-2006. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 20 с.

17. Холмянский, М.М. Сцепление стержневой арматуры с бетоном / М.М. Холмянский, Б.С. Гольдфайн, В.М. Кольнер и др. // *Сцепление арматуры с бетоном*. – М.: НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР, 1971. – С. 81–87.

18. Икрин, В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности: учебное издание / В.А. Икрин. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 474 с.

19. Гениев, Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

20. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

21. Дыховичный, Ю.А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности. / Ю.А. Дыховичный. – М.: Стройиздат, 1970. – 248 с.

**Тарасов Максимилиан Владимирович**, аспирант кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), tar-mv@bk.ru.

**Карякин Анатолий Андреевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), kariakinaa@susu.ru.

**Дербенцев Илья Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), derbentcevis@susu.ru.

*Поступила в редакцию 6 декабря 2019 г.*

## NUMERICAL RESEARCH OF THE INTER-PANEL FASTENER JOINT INTENSION BEFORE CRACKING

M.V. Tarasov, tar-mv@bk.ru

A.A. Karyakin, kariakinaa@susu.ru

I.S. Derbentsev, derbentcevis@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

A large-panel design scheme includes floor elements, wall panel elements, and joints between them. The rigidity and strength characteristics in tension, compression and shear are required to be known for correct modeling of large-panel buildings. Due to the lack of universal formulas in the normative and reference literature for determining the strength and rigidity of various types of joints, it is necessary to conduct additional research.

In 2014 a new type of vertical monolithic joint for large-panel buildings was developed: the fastener joint of wall panels, which has significant strength and rigidity. The fastener includes a check clamp, which connects the loop outlets on panel ends and the steel plate, which connects the ends of the clamp. It is necessary to correctly evaluate the strength and rigidity of the joint for its fully-functional application. The experimental research on the joint in tension discovered its bilinear force-deformation relationship (with great rigidity before cracking, and with marginal one after). To analyze the large-panel buildings under the influence of the main operational loads, it is enough to model the joint's work on the first stage (before cracking).

The aim of the research is to study the fastener joint in tension before cracking. The paper compares the results of numerical modeling with the sample testing results, and determines the rigidity and cracking load for joints with other values of the grouting concrete strength and the diameters of the loop outlets.

The research was carried out using flat finite-element model in the Lira-SAPR CAD software package.

The results of calculation of the joint model are generally consistent with the results of sample testing. In addition, the rigidity and cracking load were determined for joints with various parameters (concrete strength and loop outlet diameter).

The results of the study can be used for designing large-panel buildings with this type of joint.

*Keywords:* large-panel buildings, rigidity of joints, strength of joints, tensile tests, fastener joint, loop joints, keyed joints.

## References

1. Blazhko V.P. [Fastener for Connection of Structural Elements of a Panel Building]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2014, no. 1–2, pp. 3–6 (in Russ.).
2. *Proyektirovaniye zhilykh mnogokvartirnykh zdaniy s shirokim shagom nesushchikh konstruktsiy, obespechivayushchikh svobodnyu planirovku. Metodicheskoye posobiye* [Design of Residential Multi-Apartment Buildings with a Wide Span Load-Bearing Structures, Providing a Free Layout. Toolkit]. *Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, Federal'noye avtonomnoye uchrezhdeniye «Federal'nyy tsentr normirovaniya, standartizatsii i otsenki sootvetstviya v stroitel'stve»* [Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Federal Autonomous Institution “Federal Center for Standardization, Standardization and Conformity Assessment in Construction”]. Moscow, 2017. 106 p.
3. Blazhko V.P. *O proyektirovanii panel'nykh zdaniy, adaptirovannykh k tekhnologiyam firmy EBAWE* [About Designing Panel Buildings Adapted to EBAWE Technology]. Available at: <http://raee.su/images/doklady2015/7.pdf> (accessed 30 November 2019).
4. *SP 335.1325800.2017. Svod pravil. Krupnopanel'nyye konstruktivnyye sistemy. Pravila proyektirovaniya* [Design Code. Large-Panel Construction System. Design Rules]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2017. 82 p.
5. Derbentsev I.S. *Nesushchaya sposobnost' i deformativnost' shponochnykh soyedineniy s petlevymi gibkimi svyazyami v stykakh krupnopanel'nykh mnogoetazhnykh zdaniy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Load Bearing Capacity and Deformation of Keyed Connections with Loop Flexible Connections in Joints of Large-panel Multi-Storey Buildings. Cand. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2014. 158 p.
6. Shapiro G.I., Yur'yev R.V. [To the Question of Constructing a Design Model of a Panel Building]. *Pro-myshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2004, no. 12, pp. 32–33 (in Russ.).
7. Danel' V.V. [The Finite Element Model of a Large-Panel Buildings]. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 2, pp. 148–153 (in Russ.).
8. Vodop'yanov R.Yu. [Modeling and Analysis of large-panel buildings in the PK LIRA-SAPR 2017]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2017, no. 3, pp. 42–48 (in Russ.).

9. Danel' V.V. [Analysis of Formulas for Determining the Tensile Rigidity of a Monolithic Concrete Joint of Two Reinforced Concrete Panels Intersected by Continuous Reinforcing Bars]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions], 2010, no. 3, pp. 4–13 (in Russ.).
10. Kariakin, A.A. Derbentsev I.S., Tarasov M.V. [Experimental and Numerical Research on Tensile Performance of Inter-Panel Fastener Joints of Large-Panel Buildings], *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 262, 012046. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012046.
11. Tikhonov I.N. *Armirovaniye elementov monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniy. Posobiye po proyektirovaniyu* [Reinforcement of Elements of Monolithic Reinforced Concrete Buildings. Design Manual]. Moscow, NITS "Stroitel'stvo" Publ., 2007. 170 p.
12. *Proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruksiy s primeneniym svarnykh setok i karkasov zavodskogo izgotovleniya. Metodicheskoye posobiye* [Design of Reinforced Concrete Structures Using Welded Wire Mesh and Prefabricated Frames. Toolkit]. *Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, Federal'noye avtonomnoye uchrezhdeniye «Federal'nyy tsentr normirovaniya, standartizatsii i otsenki sootvetstviya v stroitel'stve»* [Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Federal Autonomous Institution "Federal Center for Standardization, Standardization and Conformity Assessment in Construction"]. Moscow, 2016. 261 p.
13. *SP 63.13330.2018. Svod pravil. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozeniya. SNiP 52-01-2003* [Design Code. Concrete and Reinforced Concrete Structures. General Provisions. SNiP 52-01-2003]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2018. 143 p.
14. Karyakin A.A. *Raschet zhelezobetonnykh balok metodom konechnykh elementov s uchetom plastichnosti betona, obrazovaniya treshchin, diskretnogo raspolozheniya armatury i eye stsepleniya s betonom. Dis. kand. tekhn. nauk* [Analysis of Reinforced Concrete Beams by the Finite Element Method Taking into Account the Plasticity of Concrete, the Formation of Cracks, the Discrete Arrangement of the Reinforcement and its Adhesion to Concrete. Cand. sci. diss.]. Sverdlovsk, 1979. 289 p.
15. *GOST 5781-82. Mezhhgosudarstvennyy standart. Stal' goryachekatanaya dlya armirovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy. Tekhnicheskkiye usloviya* [Interstate Standard. Hot-Rolled Dteel for Reinforcement of Reinforced Concrete Structures. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 10 p.
16. *GOST R 52544-2006. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Prokat armaturnyy svarivayemyy periodicheskogo profilya klassov A500S i V500S dlya armirovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy. Tekhnicheskkiye usloviya* [National Standard of the Russian Federation. Weldable Deformed Reinforcing Rolled Products of A500C and B500C Classes for Reinforcement of Concrete Constructions. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 20 p.
17. Kholmyanskiy M.M., Gol'dfayn B.S., Kol'ner V.M., Nadareyshvili G.F., Zaytsev V.V., Erin N.N., Shabayeva N.E. [Bond of a Bar Reinforcement with a Concrete]. *Stsepleniye armatury s betonom* [Bond of a Reinforcement with a Concrete]. Moscow, NII betona i zhelezobetona Gosstroya SSSR Publ., 1971, pp. 81–87 (in Russ.).
18. Ikrin V.A. *Soprotivleniye materialov s elementami teorii uprugosti i plastichnosti: uchebnoye izdaniye* [Strength of Materials with Elements of the Theory of Elasticity and Plasticity. Textbook]. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 2005. 474 p.
19. Geniyev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. *Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona* [The Theory of Plasticity of Concrete and Reinforced Concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1974. 316 p.
20. Karpenko N.I. *Teoriya deformirovaniya zhelezobetona s treshchinami* [The Theory of Reinforced Concrete Deformation with Cracks]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976. 208 p.
21. Dykhovichnyy Yu.A. *Konstruirovaniye i raschet zhilykh i obshchestvennykh zdaniy povyshennoy etazhnosti* [Design and Analysis of Residential and Public Buildings of High Storeys]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1970. 248 p.

Received 6 December 2019

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Тарасов, М.В. Численное исследование работы замкового соединения стеновых панелей на растяжение до образования трещин / М.В. Тарасов, А.А. Карякин, И.С. Дербенцев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 14–23. DOI: 10.14529/build200102

#### FOR CITATION

Tarasov M.V., Karyakin A.A., Derbentsev I.S. Numerical Research of the Inter-Panel Fastener Joint Intension before Cracking. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2020, vol. 20, no. 1, pp. 14–23. (in Russ.). DOI: 10.14529/build200102