

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШПОНОЧНЫХ СТЫКОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПЕТЛЕВЫМИ ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ

А.А. Карякин, С.А. Сонин, И.С. Дербенцев, И.А. Бельдейко

EXPERIMENTAL RESEARCH OF VERTICAL KEYED JOINTS OF CONCRETE WALL PANELS WITH FLEXIBLE LOOPS

A.A. Karyakin, S.A. Sonin, I.S. Derbentsev, I.A. Beldeiko

Приведены результаты экспериментальных исследований шпоночных соединений стеновых панелей с петлевыми гибкими связями.

Ключевые слова: стеновые панели, шпонки, гибкие связи.

The results of the experimental research of key connection of wall panels with flexible loops are given in the article.

Keywords: wall panels, keys, flexible loops.

Напряженно-деформированное состояние конструкций крупнопанельных зданий зависит от прочности и деформативности стыков [1]. Цель данных экспериментальных исследований – определение прочности и деформативности шпоночных узлов сопряжения стеновых панелей с петлевыми гибкими связями.

Конструктивное решение опытных образцов соответствовало конструктивным решениям стыков, принятых в реальных проектах.

Петля разработана компанией «Рейкко» и представляет собой закрытый металлический короб из тонкой жести, внутри которого находится тросовая петля из нержавеющей стали (рис. 1, б). Концы троса петли с ее наружной (задней) стороны соединены между собой и опрессованы стальной втулкой. При изготовлении панели закрытые коробки с вложенными в них гибкими петлями устанавливают в торцы панели анкером внутрь. Затем панель бетонируют, и после набора бетоном достаточной прочности, одновременно с распа-

лубкой снимают крышки коробов, освобождая тем самым петли. При этом коробка петли образует полость для будущей шпонки вертикального шва между панелями. После освобождения и выправления всех петель в стыке в них продевается анкерный стержень длиной, равной длине шва. Межпанельный шов с тросовыми петлями перед бетонированием представлен на рис. 1, а.

За основу при проектировании опытных образцов приняты фрагменты вертикальных стыков двух типов в пределах одной шпонки:

– линейный узел сопряжения наружных панелей (рис. 2, а);

– Т-образный узел сопряжения двух расположенных взаимно перпендикулярно наружных панелей и одной внутренней (рис. 2, б).

Ширина каждого вертикального стыка $h = 90$ мм, размеры шпонок $160 \times 20 \times 50$ мм, длина анкера петли – 250 мм. В соответствии с конструкцией данных узлов запроектировано и испытано четыре типа образцов (рис. 3, 4):



Рис. 1. Межпанельный вертикальный шов с тросовыми петлями перед бетонированием (а), гибкая петля (б): 1 – стеновые панели; 2 – жестяная коробка; 3 – тросовая петля

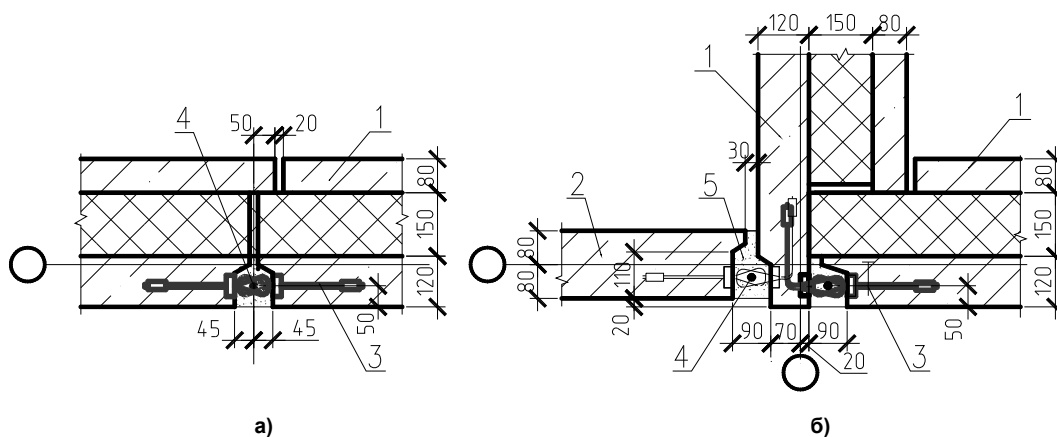


Рис. 2. Линейный узел сопряжения наружных панелей (а), Т-образный узел сопряжения внутренней панели с наружными (б): 1 – наружная панель; 2 – внутренняя панель; 3 – тросовая петля; 4 – арматурный стержень Ø16 мм АIII; 5 – бетон омоноличивания

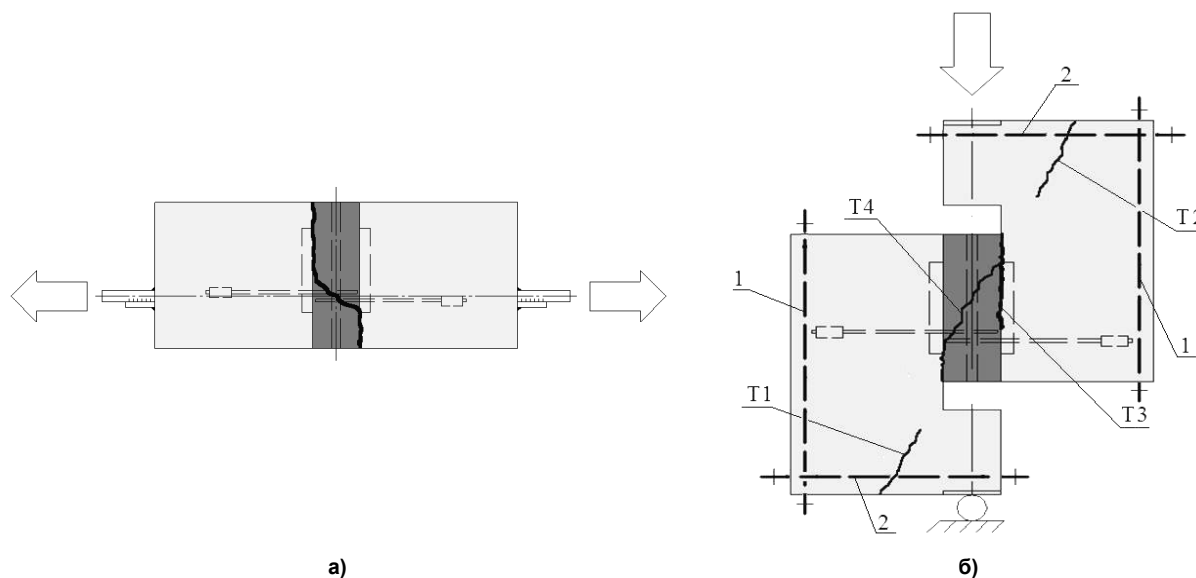


Рис. 3. Характерная схема разрушения образцов ЛР (а), образцов ЛС (б):
1 – вертикальный тяз Ø12 мм; 2 – горизонтальный тяз Ø12 мм

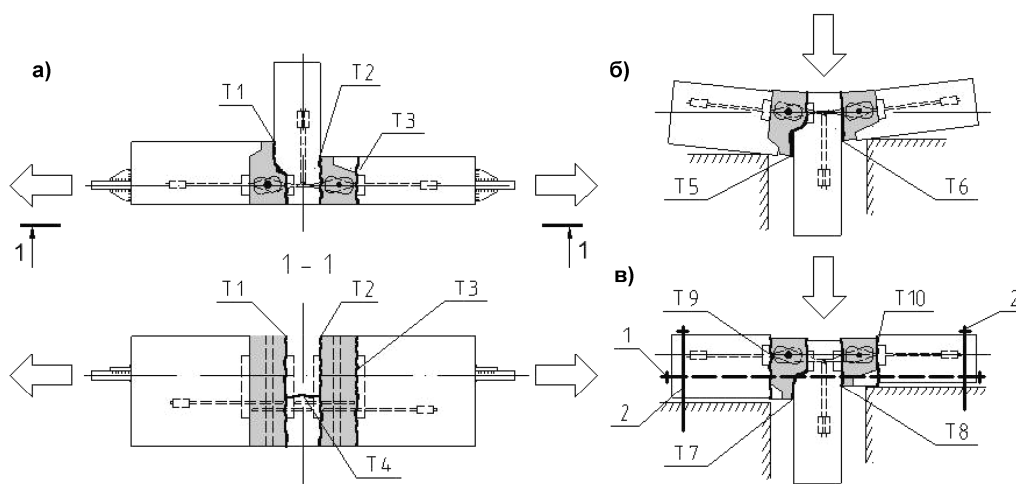


Рис. 4. Характерная схема разрушения образцов ТР (а), ТС-1 и ТС-2 (б), ТС-3...ТС-5 (в):
1 – горизонтальный тяз; 2 – анкеры опор

Теория расчета строительных конструкций

– тип ЛР – образцы линейного стыка, моделирующие работу петель, шпонки и межпанельного шва на действие растягивающего усилия;

– тип ЛС – образцы линейного стыка, моделирующие работу шпоночного соединения на сдвиг вдоль вертикального шва;

– тип ТР – образцы Т-образного стыка, моделирующие его на растягивающие усилия, параллельные внутренней панели;

– тип ТС – образцы Т-образного стыка, моделирующие работу в направлении, перпендикулярном внутренней панели.

Опытные образцы последовательно нагружали растягивающим (ЛР и ТР) или сдвигающим (ЛС и ТС) усилием. При ширине раскрытия трещин более 3,0 мм приборы снимали, и образец доводили до разрушения.

За разрушающую нагрузку принята ее максимальная величина, полученная по показаниям манометра испытательной машины независимо от ширины раскрытия трещин. Значения жесткостей представлены в таблице и соответствуют нагрузке, равной половине разрушающей.

Часть образцов при изготовлении были омоноличены бетоном класса В25, другая – растворной смесью Р-400, разработанной и изготовленной специалистами завода ЗСК, г. Челябинск (см. таблицу). Консистенция указанной смеси позволяет производить замоноличивание швов безопалубочным методом. Подбор состава смеси

осуществлялся таким образом, чтобы его прочность на сжатие соответствовала бетону класса В30. Состав смеси следующий. Вода, цемент ПЦ400-Д20, песок 1,25–2,5 мм. Отношение В : Ц : П = 0,32 : 1 : 1. Дополнительно в смесь введены метилгидроксипропил целлюлозы и полипропиленовое волокно. В результате кубиковая прочность раствора на сжатие составила 26,5 МПа, прочность на растяжение – 2,23 МПа, начальный модуль упругости – 25 500 МПа.

Образцы ЛР (рис. 3, а) представляют собой бетонные прямоугольные призмы, состоящие из двух бетонных элементов размерами 300×280×120 мм с размещенными в них анкерами петель. Всего было испытано 6 образцов типа ЛР. В процессе испытаний измерялись деформации растворного шва и зоны стыка между элементами образца.

В результате испытаний в образцах ЛР-1...ЛР-3, наблюдалось выдергивание петлевых анкеров из бетона (см. таблицу).

Разрушение образцов ЛР-4...ЛР-6 было хрупким по раствору шва под углом примерно 45° к оси приложения нагрузки (рис. 3, а). Бетонные элементы образца не разрушились. Для всех образцов ЛР характерно появление усадочных трещин шириной до 0,05 мм на нулевом этапе на участках между сборными элементами панели и бетоном замоноличивания. Ширина данных трещин увеличивалась до 4 мм при разрушающей нагрузке.

Основные результаты испытаний образцов

Тип образца	Прочность бетона сб. элементов на сжатие, МПа	Материал шва	Кубиковая прочность материала шва, МПа	Величина ступени нагружения, кН	Разрушающая нагрузка, кН	Жесткость стыка, кН/м	Характер разрушения
ЛР-1	15,9	В25		5	25	162	Выдергивание анкера петли из бетона панели
ЛР-2	14	В25		5	15	136	
ЛР-3	16,8	В25		5	20	75	
ЛР-4	21,75	Р-400	31,5	5	15	44	Разрушение растворного шва с раскрытием магистральной трещины до 4 мм
ЛР-5	23	Р-400	39	5	25	40	
ЛР-6	23	Р-400	39	5	20	25	
ЛС-1*	12	В25	29,4	2	21	9 679	Разрушение Г-образного элемента от изгиба
ЛС-2**	29	В25	39,4	3	42	7 287	
ЛС-3	27,45	В25	39,8	3	54	8 459	Разрушение шва по шпонке под углом 45°
ЛС-4	34,3	Р-400	41,2	3	60	6 753	
ЛС-5	32,1	Р-400	40,5	3	56	27 097	
ЛС-6	33,7	Р-400	42,5	3	65,5	17 240	
ТР-1	12	Р-400	35	5	15	181	Выдергивание анкера петли из горизонтального сб. элемента
ТР-2	13	Р-400	33	5	18,4	235	
ТР-3	27	Р-400	43	5	20	259	Разрушение шва сборного элемента толщиной 120 мм
ТР-4	27	Р-400	43	5	19	197	
ТС-1*	22,5	В25	41	2	30	26 000	Поворот крайних сборных элементов относительно среднего
ТС-2*	16,5	В25	37	2	36	38 000	
ТС-3	19	Р-400	52	10	190	126 000	Сдвиг крайних сборных элементов относительно среднего
ТС-4	19	Р-400	52	10	180	66 000	
ТС-5	19	Р-400	52	10	170	123 500	

* – образцы без поперечных шпилек; ** – образец без вертикальных шпилек.

Как видно из графиков, представленных на рис. 5, зависимости «смещения–усилия» (« $u-N$ ») носят упругопластический характер. В процессе нагружения получают развитие начальные трещины, постепенно раскрываясь с ростом нагрузки.

Образцы ЛС (рис. 3, б) представляют собой фрагменты вертикального стыка, состоящие из двух Г-образных сборных элементов размерами 460×325×120, с размещенными в них гибкими петлями. Всего было испытано 6 образцов ЛС.

В процессе испытаний образцов ЛС измерялись деформации взаимного сдвига смежных сборных элементов, а также сдвиговые деформации зон стыка между элементами образца и бетоном замоноличивания.

Первые два образца разрушились по материалу панели (трещины Т1 и Т2, рис. 3, б), без разрушения шпоночного соединения (стыка). В связи с этим на образцы ЛС-4...ЛС-6 были установлены дополнительные шпильки, препятствующие разрушению сборных элементов. Образцы ЛС-4...ЛС-6 разрушились по шпонке под углом примерно 45° (Т4). При этом на первых трех этапах в них появлялись трещины вдоль границы растворного шва (Т3) шириной до 0,05 мм, которые при дальнейшем нагружении не развивались.

Для стыков ЛС характерны следующие стадии деформирования (рис. 6). Первая стадия – упругая (сдвиг $u \leq 0,1$ мм), с отсутствием видимых трещин. На второй упругопластической стадии

($u \geq 0,1$ мм) образуются видимые трещины шириной до 0,1 мм в стыке (участки, параллельные оси перемещений).

Образцы ТР представляют собой фрагменты узла, изображенного на рис. 2, б, размерами 280 мм – по высоте и 300 мм – в горизонтальном направлении.

Сборные элементы образцов ТР-1 и ТР-2 изготовлены из бетона В15, ТР-3 и ТР-4 – из бетона В22,5. Каждый образец типа ТР испытывался в соответствии со схемой, изображенной на рис. 4, а. Всего было испытано 4 образца типа ТР.

Все образцы ТР имели начальные усадочные трещины шириной до 0,05 мм на участках между сборными элементами и раствором замоноличивания. У образца ТР-1 при разрушающей нагрузке 15 кН максимальное интегральное абсолютное удлинение нижней растянутой грани составило 0,033 мм. При этом ширина раскрытия трещины Т1 достигла значения 3,5 мм.

Разрушение образцов ТР-1 и ТР-2 произошло в результате вырывания петель из сборного элемента, перпендикулярного оси приложения нагрузки. У образцов ТР-3 и ТР-4 разрушился шов сборного элемента толщиной 120 мм (Т2 и Т3, рис. 4, а), в частности происходил отрыв зуба бетонного элемента (выступа, расположенного в шве) от тела верхнего элемента по трещине Т3. При нагрузке 15 кН разрушался сборный горизонтальный элемент – появлялась трещина, парал-

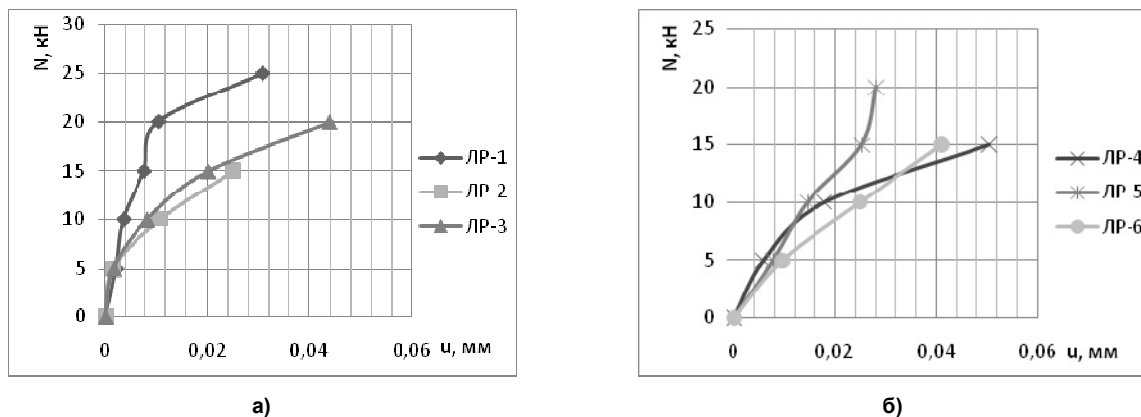


Рис. 5. Зависимости деформаций u от усилия растяжения N образцов ЛР-1...ЛР-3 (а), то же для ЛР-4...ЛР-6 (б)

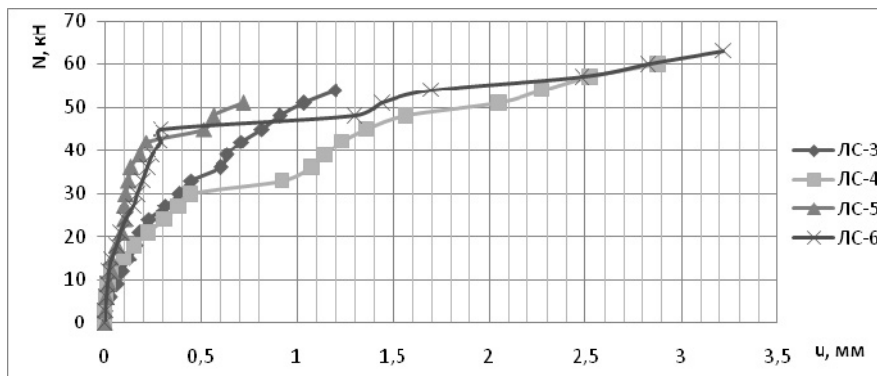


Рис. 6. Зависимости вертикального смещения u от сдвигающего усилия N образцов ЛС

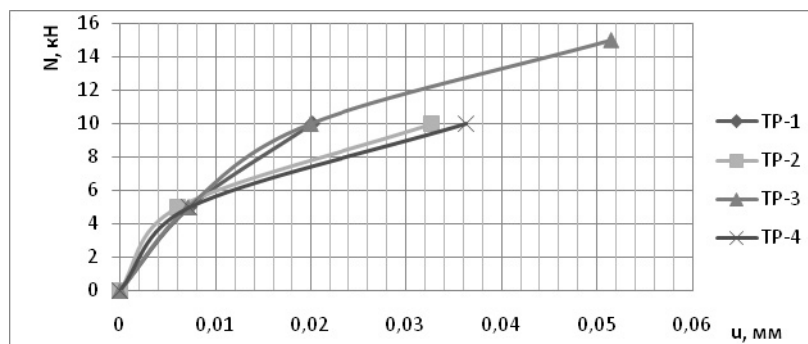
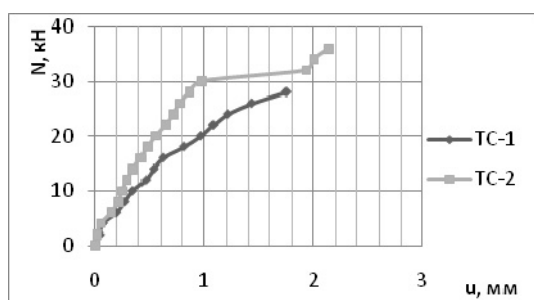
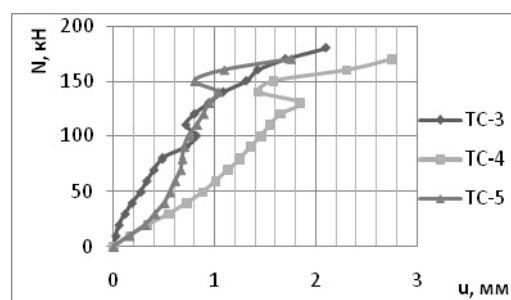


Рис. 7. Зависимости деформаций u от усилия растяжения N образцов ТР



а)



б)

Рис. 8. Зависимости горизонтального смещения u от сдвигающего усилия N образцов ТС-1 и ТС-2 (а), то же для ТС-3...ТС-5 (б)

тельная приложенному усилию (Т4, рис. 4, а).

Зависимости «смещение–усилие» (« $u-N$ ») для образцов ТР повторяют по форме зависимости образцов ЛР и носят упругопластический характер (рис. 7).

Образец ТС – копия образца ТР, у которого отсутствуют закладные детали. Образцы ТС-3...ТС-5 были притянуты к опорам анкерами и обжаты в горизонтальном направлении шпильками. Крайние элементы образцов (толщиной 120 и 160 мм) закреплялись на неподвижных опорах, нагрузка прикладывалась к среднему элементу ступенями по схеме, изображенной на рис. 4, б, в.

В процессе испытаний образцов ТС измерялись деформации взаимного сдвига сборных элементов в направлении приложения нагрузки с помощью индикаторов часового типа. Всего было испытано 5 образцов типа ТС (ТС-1...ТС-5).

Первые два образца были свободно оперты, что привело к повороту горизонтальных сборных элементов (рис.4, б). В результате этого в образце ТС-1 при нагрузке 2 кН появились трещины Т5 и Т6 (рис. 4, б). При расчетной нагрузке ширина трещины Т6 увеличилась до 3 мм, ширина трещины Т5 не изменилась и составила 0,05 мм. В процессе нагружения трещины Т5 и Т6 образца ТС-2 развивались одновременно, их ширина была одинаковой. У образцов ТС-3...ТС-5 на первом этапе (10 кН) появились трещины Т7...Т10 (рис. 4, в). При расчетной нагрузке ширина раскрытия трещины Т8 увеличилась до 2 мм. Ширина раскрытия остальных трещин оставалась на уровне 0,05 мм вплоть до разрушения образца.

Характер зависимостей « $u-N$ » образцов ТС упругопластический (рис. 8). Для образца ТС-2 горизонтальный участок при $N = 30$ кН соответствует резкому увеличению ширины трещины Т2 – с 2,5 до 7 мм.

Выводы

1. Работа монолитных шпоночных стыков крупнопанельных зданий на сдвиг может быть условно разделена на 2 стадии. Первая – упругая (или почти упругая) при нагрузках, составляющих 20–25 % от разрушающей. Вторая – упругопластическая, характеризующаяся образованием и дальнейшим развитием трещин по контакту бетона замоноличивания и сборного элемента, а также включением в работу тросовых петель. В стыках, работающих на растяжение, упругая стадия отсутствует.

2. Минимальный класс бетона сборных элементов, обеспечивающий анкеровку тросовых петель, составил В22,5.

3. Опытами установлены основные параметры исследованных шпоночных стыков с тросовыми петлями, влияющие на напряженно-деформированное состояние элементов крупнопанельных зданий, – несущая способность и податливость.

Литература

1. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций: Опыт СССР и ЧССР / Е. Горачек, В.И. Лишак, Д. Пуме и др. – М.: Стройиздат, 1980.–192 с.

Поступила в редакцию 1 июля 2011 г.