УДК 624.073:621.886

ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СОВРЕМЕННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Довженко О.А., Погребной В.В., Чурса Ю.В.

Введение. Среди современных направлений развития железобетона следует отметить совершенствование существующих и создание новыхэнергоэффективных конструктивных систем зданий. Существенную роль в совместной работе железобетонных конструкцийэтих систем играют стыки. Наибольшим сопротивлением действию срезывающих сил обладают шпоночные соединения.

В Полтавском национальном техническом университете имени Юрия Кондратюка на протяжении последних тридцати лет проводятся системные теоретические и экспериментальные исследования шпоночных соединений бетонных и железобетонных элементов[1], которые позволили сформулировать рекомендации по их расчету и усовершенствоватьконструктивныерешения.

Постановка проблемы совершенствования шпоночных соединений. Стыки железобетонных конструкций сборно-монолитных систем существенно отличаются друг от друга.

Шпоночные соединения можно классифицировать по таким параметрам:

- характеру разрушения (смятие, срез, отрыв приизгибе), который определяется соотношением глубины l_k шпонки к ее высоте h_k; при использовании тяжелого бетона наибольшую прочность имеют шпонки с $l_k / h_k = 0,25$;
- случаю разрушения соединения («по шпонке» и «по шву»);
- форме поперечного сечения (квадратная, прямоугольная вытянутая в ширину или высоту, круглая (при использовании круглопустотных плит) или овальная (для плит типа Тенсиланд и др.);
- форме шпоночного профиля (прямоугольный, трапециевидный, треугольный, полукруглый, ломаный);с увеличением угла наклона опорной поверхности шпонкик горизонтали прочность стыка повышается; учитывая особенности технологии изготовления элементов для применения рекомендуются шпонки трапециевидного профиля;
- наличию обжатия и армирования (бетонные, обжатые и армированные стыки); обжатие и армирование существенно увеличивают прочность соединений, расширяют границы срезовой формы разрушения стыков и повышают пластические свойства бетона;
- по характеру расположения арматуры (в один ряд– посередине высоты шпонки, в два уровня по высоте с симметричным и несимметричнымармированием); при расположении арматуры в два уровня пластичность бетона возрастает;
- виду (тяжелый, керамзито-, фибробетон) и классу бетона;
- количеству шпонок в стыке;
- наличию шва (когда между двумя элементами располагается бетон замоноличивания(шов) определенной ширины и возможно разрушениев пределах шва, иконтактные стыки без шва).

Указанные типы соединений железобетонных конструкций получили распространение в современных каркасных и стеновых конструктивных системах многоэтажных зданий.Наиболее известны такие варианты одношпоночных стыков: надколонной плиты с колонной в конструктивной системе КУБ-2,5 [2]; плит перекрытия и несущего монолитного ригеля(а также плитмежду собой) в конструктивной системе АРКОС [3]; сборно-монолитного ригеля с колонной в системе САРЕТ [4].Многошпоночные соединения применяютсяв стыках: сборно-монолитного ригеля с колонной в системе КАЗАНЬ – XX в. [5], стеновых панелей в крупнопанельном домостроении и др.

Несмотря на широкое использование шпоночных соединений в современных многоэтажных зданиях, у проектировщиков и потребителей сохраняется осторожное к ним отношение, препятствующее совершенствованию конструктивных решений. Это, по нашему мнению, связано с недостатками существующих нормативных методик расчета шпонок, которые существенно занижают их несущую способность из-за неучета целого ряда факторов, определяющих прочность стыков, и требуют уточнения.

Оценку несущей способности шпоночных соединений необходимо производить на достаточно общей теоретической основе с учетом специфики их конструктивного решения.

Результаты исследования. Примеры усовершенствования стыков.В ПолтНТУ предложена методика расчета шпоночных соединений на основе вариационного метода в теории пластичности бетона [6], которая базируется на рассмотрении характера разрушения стыков, учитывает полную совокупность факторов влияния и нашла подтверждениев экспериментальных исследованиях.

С целью оцениваниядостоверности и преимуществ вариационного метода по сравнению с нормативными и другими авторскими методиками, проанализирована сходимость теоретической прочности с экспериментальной для 192 образцов [7], иполучены следующие статистические характеристики для отношения теоретической прочности, вычисленной согласно предложенной методики, к опытной: $\overline{X}$ =0,95,n =15,95 %(показатели для нормативной методики $\overline{X}$ =0,61, n =36,9 %). Высокая точность достигается за счет использования соответствующей конкретной задаче кинематической схемы разрушения, отображающейее специфику.

При расчете шпоночного соединения плиты с колонной системы КУБ-2,5 рассматривается одношпоночный обжатый стык трапециевидного профиля с толщиной $b_k = 400$ мм, высотой $h_k = 160$ мм,глубинойшпонки$l_k = 170$ мм, отношением размеров $l_k / h_k = 1{,}06$ и углом наклона опорных поверхностей шпонки $y = 26^{\circ}$; бетон замоноличивания класса С32/40. Обжатие стыка возникает в результатедействия момента и удерживающего влияния плиты.

При оценке прочности соединения на действие поперечной силы учитываются обе прочностные характеристики бетона f_{cd} и f_{ctd}, соотношение геометрических параметров шпонки l_k / h_k , угол наклонаy и величина обжатияs .

Разработаны предложения по усовершенствованию конструкции указанного стыка путем изменения геометрии шпонки [8].Предлагается уменьшить ее глубину до $l_k = 80$мм, что приведет к$l_k / h_k = 0{,}5$(рис. 1),повышению прочности шпоночного соединения и улучшению условий передачи вертикальной нагрузки.

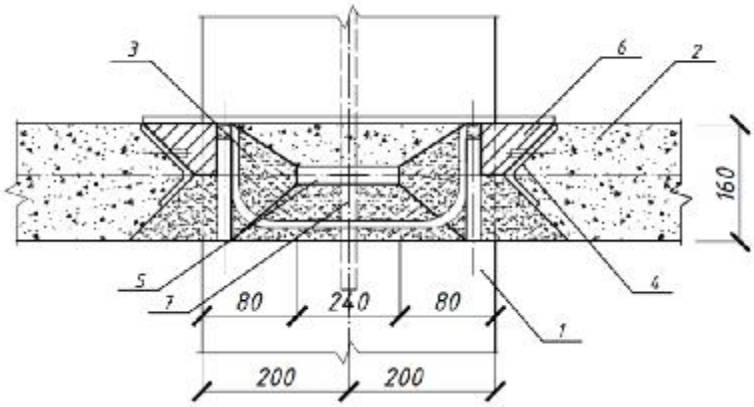

Рисунок 1 – Конструкция усовершенствованного стыка соединения надколонной плиты с колонной:

1 – колонна; 2 – плита перекрытия; 3 – шпонка; 4 – металлическая обойма; 5 – закладная деталь; 6 – металлическаяпластина; 7 – фиксирующий стержень

Особенностью расчета шпоночных соединений плиты перекрытия с монолитными ригелями конструктивной системы АРКОС является учет круглого поперечного сечения шпонок и распора, который возникает при деформировании перекрытия.

В зарубежных аналогах сборно-монолитных перекрытий с использованием многопустотных плит не допускается устройство опорных сечений в виде чисто бетонных шпонок. В Украине существует ряд патентов[9, 10], предлагающих варианты армирования шпонок плоскими или пространственными каркасами. Авторами даны предложения относительно совершенствования конструкции стыка многопустотной плиты с ригелем [11] путем использованиядля армирования цилиндрического каркаса (рис. 2). При этом технический результат заключается в обеспечении равной прочности шпоночного стыка как в вертикальной так и горизонтальной плоскостях, а также повышении его надежности при сейсмических воздействиях.

Учет круглого сечения шпонки вместо эквивалентного квадратного приводит к снижению расчетной прочности приблизительно на 10%, что определяет необходимость такого учета для обеспечения надежности соединения. Армирование существенно повышает несущую способность данного стыка и расширяет границы срезовой формы разрушения.Неравномерное обжатие, вызванное распором, также является определяющим фактором прочности соединения.

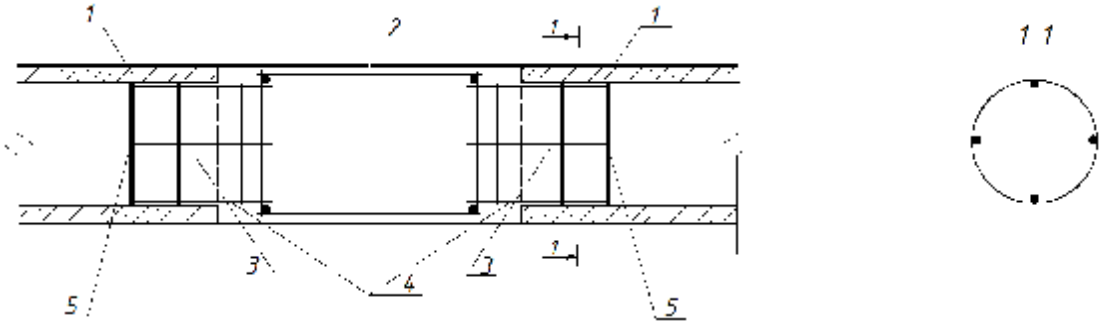

Рисунок 2 – Усовершенствованный узел соединения плит с ригелем в сборно-монолитном перекрытии:

1 – опорные площадки круглопустотных плит;2 – монолитный ригель;3 – шпонки; 4 – арматурные каркасы цилиндрической формы;5 – ограничители

В модификациисборно-монолитного перекрытия системы АРКОС изменяются:глубина шпонки (150 мм вместо 100 мм) и ее высота (увеличивается на толщину верхней полочки плиты) [12]; количество и характер армирования (двухуровневое: в верхнем уровне и посередине высоты шпонки) [13]. Предложенная методика расчета прочности вариационным методом позволяет учесть все отмеченные выше особенности стыков и более точно оценить их несущую способность.

Примером многошпоночного соединения с наличием шва является безконсольный стык ригеля с колонной [14], характеризующийся следующими параметрами: треугольным профилем с $l_k/h_k = 0{,}5$ и $t_j/h_k = 3$ (тут $t_j = 120$ мм – ширина шва), разной толщиной b_k (рис. 3), обусловленной тавровым поперечным сечением ригеля,и классом бетона замоноличванияС20/25.

При решении задачи прочности рассматриваются все возможные случаи разрушения пятишпоночного стыка, для каждого из которых подсчитывается величина предельной нагрузки. В качестве расчетной принимается минимальное из полученных значений, которое при заданных параметрах стыка соответствует разрушению по шпонкам.

Особенностью конструктивного решения стыка является наличие в нем пяти шпонок (нормы ограничивают их количество тремя). С точки зрения авторов такое увеличение количества шпонок является вполне обоснованным. Согласно экспериментальным данным [15] прочность пятишпоночного армированного стыка в 3,9 раз больше, чем одношпоночного. Для учета неравномерности работы стыка по длине предложена формула для определения его прочности в зависимости от количества шпонок [7].

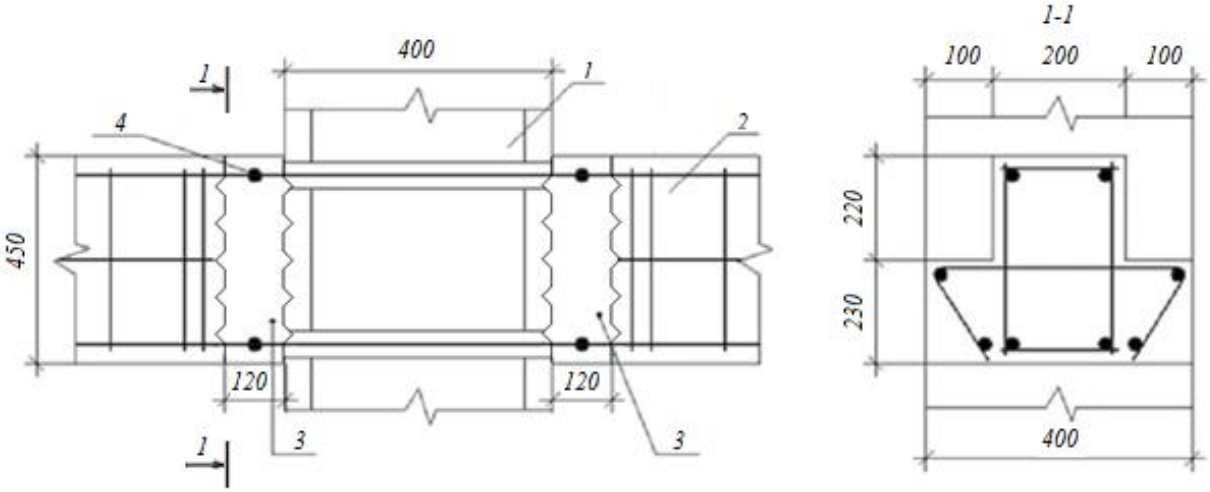

Рисунок 3 – Безконсольный шпоночный узел соединения ригелей с клонной:
1 – колонна; 2 – ригель; 3 – шпоночный стык; 4 – арматурные стержни

Выводы.Широкое использование шпоночных соединений в сборно-монолитных конструктивных системах многоэтажных зданий определяет необходимость совершенствования методики расчета их прочности. В ПолтНТУ разработана достаточно общая методика расчета шпоночных стыков на основе вариационного метода в теории пластичности бетона, которая подтверждена результатами экспериментальных исследований. Она базируется на рассмотре-

нии характера разрушения стыков и системы определяющих прочность факторов. Использование предложенной методики расчета позволяет более точно оценить несущую способность стыков, которые в большинстве случаев имеют существенный запас прочности, и усовершенствовать их конструкцию.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довженко, О.О.Міцність шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: експериментальні дослідження: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2015. – 181 с.

2. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий: Рабочий проект в 9-ти выпусках. Серия КУБ-2,5. Выпуск 1-1. / Фирма «КУБ» СП «ИНЭКС», Научно-проектно-строительное объединение монолитного домостроения (НСПО «МОНОЛИТ»). – М., 1990. – 49 с.

3. Мордич, А.И. 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.

4. Каркасная несущая система SARET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kgasuclan.ru/down/viewdownload/80/242

5. Универсальная несущая сборно-монолитная каркасная система «КАЗАНЬ-XXI век» / И.И Мустафин., ООО «Проектно-конструкторская фирма «Каркас».– Казань, 2005. – 21 с.

6. Довженко, О.О. Методикарозрахункушпонковихзєднань залізобетонних елементів // О.О. Довженко, В. В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва» – Львів, 2013. – №755. – С. 111 – 117.

7. Чурса, Ю.В. Міцність при зрізі шпонкових з'єднань елементів конструктивних систем будівель: дис. … канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.В. Чурса; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2016. – 231 с.

8. Патент на корисну модель №91267: МПК (2006.01) E04B 1 / 04. Вузол з'єднання надколонної плити з колоною у збірно-монолітних безкапітельно-безбалкових перекриттях / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса , А.І. Бігдан: власник патенту – ПолтНТУ. – Опубл. 29.12.2014. – Бюл. № 12.

9. Патент на корисну модель 23418 МПК-2011.01 E04G 23 / 00. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття / І.І. Куліченко, М.В. Савицький : власник патенту – ПДАБА. – Опубл. 25.05.2007. – Бюл. № 7.

10. Патент на корисну модель 23425 МПК-2011.01 E04G 23 / 00. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття / В.С. Магала, М.В. Савицький : власник патенту – ПДАБА. – Опубл. 27.12.2010. – Бюл. № 24.

11. Патент на корисну модель № 104986: МПК (2006.01) E04B 1 / 38. Вузол з'єднання плит з ригелем у збірно-монолітних перекриттях / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса : власник патенту – ПолтНТУ. – Опубл. 25.02.2016. – Бюл. № 4.

12. Butskaya E. L. Durability and cost-effectiveness of precast and cast-in-situ deck / E. L. Butskaya, M. V. Savytskyi // Techniczne nauki. Chemia i chemiczne technologie. Budownictwo i architektura. − Przemysl: Nauka i studia, 2013. – NR 35 (103). – С. 77 – 83.

13. Патент на полезную модель 2453662 МПК-8 E04B/20. Сборно-монолитный каркас здания / Е.П. Гуров: патентообладатель – Гуров Е.П. – Опубл. 12.07.2011. – Бюл. №17.

14. Коровин, Н.Н. Экспериментальное исследование шпоночных сопряжений ригелей с колонной / Н.Н. Коровин, В.С. Еськов // Бетон и железобетон. – 1965. – №3. – С. 40–43.

15. Довженко, О.О. Результати експериментальних досліджень залізобетонних елементів із змінною кількістю шпонок / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Л.В. Карабаш, Ю.В. Чурса // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівліта споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2014. – Вип. 30. – С. 143 – 150.