УДК 624.94.012.45

РЕКОНСТРУКЦИЯ И НОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ "УИКСС"

RECONSTRUCTION AND CONSTRUCTION OF BUILDINGS OF LIGHT INDUSTRY WITH BEARING SYSTEM "UIKSS"

Б.С. СОКОЛОВ, Е.О. ТРОШКОВ
B.S. SOKOLOV, E.O. TROSHKOV

(Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Поволжский государственный технологический университет)
(Kazan State Architectural and Construction University, Volga State Technological University)
E-mail: sokolov@kgasu.ru; troshkoveo@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения разрабатываемой железобетонной несущей системы "Универсальная индустриальная каркасная система строительства" ("УИКСС") в сфере реконструкции и нового строительства зданий легкой промышленности. Приведены конструктивные схемы, применимые при реконструкции, и представлены основные выражения расчета прочности стыка "плита-колонна", полученные по результатам компьютерного моделирования и физических экспериментов.

The article discusses the possibility of applying the developed reinforced concrete framework "Universal industrial frame system construction" in the field of reconstruction and of new construction of light industry buildings. Particular attention in the article is paid to applicable constructive schemes in the reconstruction. The basic calculation expression of "plate-column" joint strength, obtained from the results of computer modeling and physical experiments, are outlined.

Ключевые слова: железобетонный каркас, штепсельный стык, безбалочные перекрытия, расчет прочности, реконструкция зданий.

Keywords: reinforced concrete frame, socket joints, girderless slab, calculation of strength, reconstruction of buildings.

В настоящее время по разным причинам производится реконструкция зданий легкой промышленности, в том числе с изменением их функционального назначения. Нередко это приводит к смене условий эксплуатации и повышению нагрузок, передающихся на перекрытия. Ограждающие конструкции таких зданий, как правило, находятся в удовлетворительном состоянии, что позволяет осуществлять реконструкцию путем замены внутренних стен и перекрытий несущей системой.

Сравнение каркасов из монолитного и сборного железобетона по технологичности производства работ, расходу материалов, скорости и удобству монтажа, в условиях реконструкции и нового строительства, показывают значительные преимущества последних, особенно при производстве работ в зимнее время.

Одной из эффективных несущих систем из сборного железобетона с безбалочными бескапительными перекрытиями является "Универсальная индустриальная каркасная

система строительства" ("УИКСС") [7], общий вид которой представлен на рис. 1. Главная отличительная особенность данного каркаса состоит в применении штепсельных стыков в узлах соединения плит перекрытия с колоннами каркаса (рис. 2). Такое решение стыка обладает технико-экономическими преимуществами над известным стыком элементов, применяемом в безбалочных каркасах системы "КУБ 2.5", по критериям металлоемкости, трудоемкости изготовления и монтажа [3].

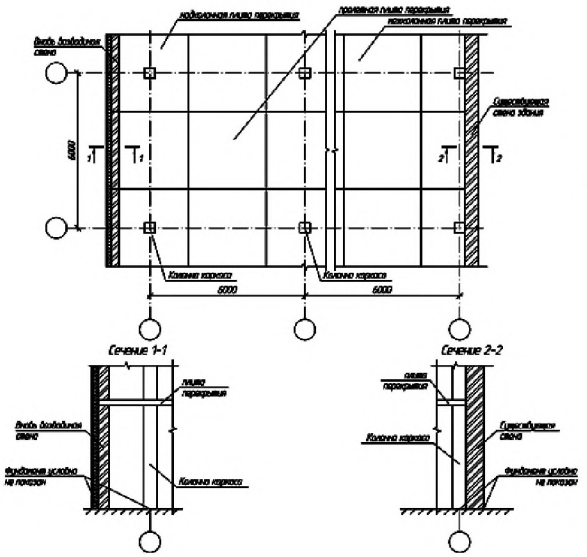

Рис. 1

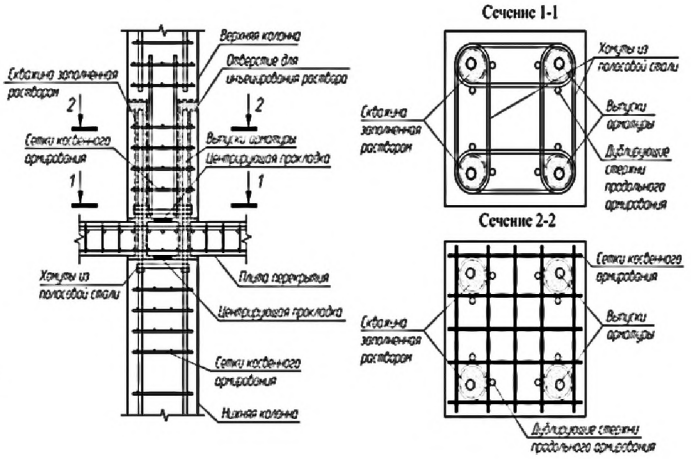

Рис. 2

Для внедрения предлагаемого каркаса при новом строительстве и реконструкции зданий необходима разработка методики расчета данных стыков, которая позволит выполнять проектирование каркаса, соблюдая условия обеспечения конструктивной безопасности соединений и несущей системы в целом. В [2] сформулированы теоретические основы расчета данных стыков, в соответствии с которыми расчет необходимо проводить отдельно для двух стадий – монтажа и эксплуатации.

В монтажной стадии прочность стыка предлагается определять прочностью контактной зоны верхней колонны, нижней колонны и плиты перекрытия на базе теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию [4].

В эксплуатационной стадии, при действии на стык продольных, поперечных сил и изгибающих моментов, прочностные расчеты должны включать:

- расчет контактной зоны колонн с плитой перекрытия при действии сжимающих нагрузок со случайным эксцентриситетом и внецентренном сжатии;
- расчет на действие сдвигающих усилий в колоннах и плите перекрытия.

Для выявления действительного напряженно-деформированного состояния конструкций стыка и разработки методики расчета выполнены многофакторные численные исследования и физические эксперименты, методика проведения которых описана в работах [1], [6].

Численные исследования работы стыка в монтажной стадии позволили уточнить методику расчета и записать условие прочности оголовков колонн:

$$N \le N_{ult} = \left(\frac{[(N_{bt}+N_{sw})\cos\alpha+N_{sh}]}{\sin\alpha} + N_{ef} + Q_{sd} + \gamma_s N_s\right), \quad (1)$$

где N_{bt}, N_{sh}, N_{ef}, N_{sw}, Q_{sd}, N_s – сопротивление бетона отрыву, сдвигу, раздавливанию, стержней сеток косвенного армирования растяжению [2], хомутов из полосовой

стали при изгибе, продольной арматуры; α – угол наклона грани клина к грузовой площадке; γ_s – коэффициент условия работы продольной арматуры.

При выполнении условия $L_{loc} \leq \frac{1}{3}a$ $\gamma_s = 0$; при $L_{loc} > \frac{1}{3}a$ γ_s определяется по формуле:

$$\gamma_s = -0{,}75\left(\frac{L_{loc}}{a}\right)^2 + 2\left(\frac{L_{loc}}{a}\right) - 0{,}25, \quad (2)$$

где L_{loc} – ширина зоны передачи нагрузки; a –размер сечения квадратной колонны.

Условие прочности плиты перекрытия в монтажной стадии:

$$N \leq N_{ult} = \left(\frac{[N_{bt}\cos\alpha + N_{sh}]}{\sin\alpha} + N_{ef} + \omega_1(Q_{sd1} + Q_{sd2})\right), \quad (3)$$

$$N_{bt} = \gamma_{bt}R_{bt}(4hL_{loc}), \quad (4)$$

$$\gamma_{bt} = \frac{2{,}7h}{L_{loc}} + 0{,}8, \quad (5)$$

$$Q_{sd1(2)} = 0{,}75\sum_{i=1}^{n} R_s A_{s,i}\sin\alpha, \quad (6)$$

где Q_{sd1}, Q_{sd2} – сопротивление стержней верхней и нижней сетки армирования (возникает в стержнях, расположенных на ширине, равной $1{,}8L_{loc}$); γ_{bt} – коэффициент условий работы бетона в стесненных условиях; ω_1=0,35 – коэффициент условия работы стержней продольного армирования плиты; h – высота плиты.

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния стыков в эксплуатационной стадии, с варьированием параметрами модели и силовыми воздействиями, позволило определить схемы разрушения стыка, факторы, в наибольшей мере оказывающие влияние на напряженно-деформированное состояние, получить данные о работе материалов и отдельных элементов узла, а также оптимизировать программу физических экспериментов. Численные исследования показали, что в эксплуатационной стадии разрушение соединения также может происходить от продавливания и достижения предела прочности нормального сечения плиты. Эти вопросы широко изучены и в проводимых исследованиях не рассматривались.

Физические эксперименты проводились на моделях стыка, отвечающих критериям физического и геометрического подобия (1/2). В исследованиях изучалась работа стыка в эксплуатационной стадии, что позволило определить схемы разрушения стыка, получить данные о деформативности, построить графики "внешняя нагрузка - деформации" как для стыка в сборе, так и для его отдельных элементов.

По результатам компьютерного моделирования и физических экспериментов, на базе теоретических основ расчета, получены выражения для определения прочности стыка при действии эксплуатационных нагрузок, которые приведены ниже.

Прочность при сжатии со случайным эксцентриситетом определяется расчетом контактной зоны нижней колонны по выражению (1) при ширине передачи нагрузки L_{loc}, равной геометрическому размеру сечения квадратной колонны a. Прочность плиты перекрытия определяется расчетами по нормальным сечениям и продавливанию, регламентированными нормами [5]. Расчет прочности контактной зоны верхней колонны проводится аналогично нижней, но с добавлением в выражение сопротивления продольного армирования, расположенного в скважинах (N'_{ck}) с понижающим коэффициентом (γ_{ck}=0,6) [2].

Расчет прочности при внецентренном сжатии также ограничивается определением несущей способности контактной зоны колонн на основе теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию:

$$N \leq N_{ult} = \gamma_e\left(\frac{[(N_{bt} + N_{sw})\cos\alpha + N_{sh}]}{\sin\alpha} + N_{ef} + Q_{sd} + N'_s\right), \quad (7)$$

$$\gamma_e = 1 - 0{,}55\frac{e_0}{a}, \quad (8)$$

где γ_e – коэффициент, учитывающий влияние величины эксцентриситета e_0.

$$N_{bt} = 2R_{bt}a(h_p - 0{,}25L_{loc}\sin 2\alpha), \quad (9)$$

$$h_p = 0{,}75x + 0{,}67a, \quad (10)$$

где h_p – рабочая высота стыка; L_{loc} – ширина зоны передачи нагрузки, равная высоте сжатой зоны бетона (x).

$$N_{sw} = \omega\gamma_{sw}q_{sw}\ell_{sw}, \quad (11)$$
$$N_{sh} = R_{sh}A_{sh} = 3R_{bt}aL_{loc}\cos\alpha, \quad (12)$$
$$N_{ef} = R_b aL_{loc}\sin^2\alpha, \quad (13)$$
$$Q_{sd} = 0{,}667\sum_{i=1}^{n} R_s A_{swx,i}\sin\alpha, \quad (14)$$
$$N_s = R_s A_s', \quad (15)$$

где A_{swx} – площадь сечения хомута из полосовой стали; A_s' – площадь сжатых стержней продольного армирования; n – количество сечений хомутов из полосовой стали, пересекающих плоскости сдвига в глубине тела колонны.

Параметры, входящие в расчетные выражения, но не описанные в данной статье, определяются согласно [2].

Расчет прочности при действии сдвигающих усилий оценивается прочностью оголовков верхней и нижней колонн в отдельности. В общем виде предел прочности одного оголовка колонны на сдвиг с учетом вертикального обжатия оценивается суммой следующих характеристик:

$$Q \le Q_{ult} = Q_{bt} + Q_{sw1} + Q_{sw2} + Q_s + N\mu, \quad (16)$$

где Q_{bt}, Q_{sw1}, Q_{sw2}, Q_s – сопротивление бетона на отрыв, сеток косвенного армирования в зоне отрыва, хомутов из полосовой стали, продольного армирования при возникновении "нагельного эффекта"; N – продольное усилие в колонне; μ – коэффициент трения по контакту раствор – бетон.

$$Q_{bt} = A_{bt}R_{bt} = aLR_{bt}, \quad (17)$$

где L – рабочая высота стыка при сдвиге ($5d_s$ при использовании хомутов из полосовой стали).

$$Q_{sw1(2)} = k_{1(2)}\sum_{i=1}^{n(k)} R_{s1(2)}A_{sw1(2),i}, \quad (18)$$

где k_1, k_2 – коэффициент полноты эпюры растягивающих напряжений в сетках косвенного армирования и хомутах из полосовой стали (k_1 = 0,45 для нижней и верхней колонны; k_2=0,5 для верхней колонны, k_2=1 для нижней колонны); R_{s1}, R_{s2} – расчетное сопротивление растяжению стержней сеток и хомутов из полосовой стали; $A_{sw1,i}$, $A_{sw2,i}$ – площадь одного стержня сетки и сечения хомута; n, k – количество стержней и сечений хомутов, попадающих в зону отрыва.

Исследования показали, что в стержнях продольного армирования колонны, расположенных в зоне отрыва бетона, возникают растягивающие напряжения, достигающие предела текучести, а угол их изгиба составляет 25°, что позволило привести выражение определения сопротивления Q_s к следующему виду:

$$Q_s = 0{,}45\sum_{i=1}^{m} R_s A_{s,i}, \quad (19)$$

где R_s – расчетное сопротивление стержней продольного армирования растяжению; $A_{s,i}$ – площадь одного стержня продольного армирования; m – количество стержней, попадающих в зону отрыва бетона колонны.

ВЫВОДЫ

1. Для нового строительства и реконструкции существующих зданий и сооружений, в том числе легкой промышленности, является целесообразным применение каркасной системы "УИКСС", представляющей собой сборный железобетонный безбалочный каркас с плоскими плитами перекрытия и штепсельными стыками конструктивных элементов.
2. При проектировании зданий с использованием несущей системы "УИКСС" для обеспечения конструктивной безопасности необходимо выполнение прочностных расчетов штепсельного стыка "плита-колонна" по описанным методикам для монтажной и эксплуатационной стадий.
3. На основе полученных экспериментальных данных предполагается разработка методик расчета осевой и сдвиговой податливости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соколов Б.С., Трошков Е.О.* Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния штепсельных стыков железобетонных колонн второго типа // Мат. VIII Всероссийской (II Междунар.) конф.: Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции

(НАСКР-2014). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. С.206...212.

2. *Соколов Б.С., Латыпов Р.Р.* Прочность и податливость штепсельных стыков железобетонных колонн при действии статических и сейсмических нагрузок. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010.

3. *Соколов Б.С., Поздеев В.М., Трошков Е.О.* Технико-экономическое обоснование целесообразности использования нового решения узла сопряжения колонн с надколонной плитой в сборных железобетонных безбалочных перекрытиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. – 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. Строительные науки. С. 58...61.

4. *Соколов Б.С.* Теория силового сопротивления анизотропных материалов сжатию и ее практическое применение. – М.: Изд-во АСВ, 2011.

5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003. – М., 2012.

6. *Трошков Е.О.* К проведению физических экспериментов над моделями штепсельных стыков колонн и плит перекрытия // Тр. Поволжского гос. технолог. ун-та: Серия: Технологическая. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. С. 236...241.

7. Пат. 141473 Российская Федерация: МПК E04B1/20 / Соколов Б.С. Универсальная индустриальная каркасная система строительства Татарстан (УИКСС-Татарстан); заявитель и патентообладатель Соколов Б.С. – №2013128714/03; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014.

R E F E R E N C E S

1. Sokolov B.S., Troshkov E.O. Komp'juternoe modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija shtepsel'nyh stykov zhelezobetonnyh kolonn vtorogo tipa // Mat. VIII Vserossijskoj (II Mezhdunar.) konf.: Novoe v arhitekture, proektirovanii stroitel'nyh konstrukcij i rekonstrukcii (NASKR-2014). – Cheboksary: Izd-vo Chuvash. un-ta, 2014. S.206...212.

2. Sokolov B.S., Latypov R.R. Prochnost' i podatlivost' shtepsel'nyh stykov zhelezobetonnyh kolonn pri dejstvii staticheskih i sejsmicheskih nagruzok. – M.: Izd-vo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2010.

3. Sokolov B.S., Pozdeev V.M., Troshkov E.O. Tehniko-jekonomicheskoe obosnovanie celesoobraznosti ispol'zovanija novogo reshenija uzla soprjazhenija kolonn s nadkolonnoj plitoj v sbornyh zhelezobetonnyh bezbalochnyh perekrytijah // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit. – 2013. Vyp. 31(50). Ch. 2. Stroitel'nye nauki. S. 58...61.

4. Sokolov B.S. Teorija silovogo soprotivlenija anizotropnyh materialov szhatiju i ee prakticheskoe primenenie. – M.: Izd-vo ASV, 2011.

5. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 52-01–2003. – M., 2012.

6. Troshkov E.O. K provedeniju fizicheskih jeksperimentov nad modeljami shtepsel'nyh stykov kolonn i plit perekrytija // Tr. Povolzhskogo gos. tehnolog. un-ta: Serija: Tehnologicheskaja. – Joshkar-Ola: PGTU, 2015. S. 236...241.

7. Pat. 141473 Rossijskaja Federacija: MPK E04V1/20 / Sokolov B.S. Universal'naja industrial'naja karkasnaja sistema stroitel'stva Tatarstan (UIKSS-Tatarstan); zajavitel' i patentoobladatel' Sokolov B.S. – №2013128714/03; zajavl. 24.06.2013; opubl. 10.06.2014.

Рекомендована кафедрой строительных конструкций и водоснабжения ПГТУ. Поступила 25.10.16.