

УДК 69.07

DOI: 10.25686/2542-114X.2020.1.51

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА «УИКСС»

Б. С. Соколов^{1,3}, Е. О. Трошков^{2,3}

¹АО «Казанский Гипронефтепром» (г. Казань)

²Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

³Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (г. Москва)

Разработка новых вариантов несущих систем зданий и сооружений является важной задачей, так как направлена на повышение технологичности производства, сокращение материалоемкости и минимизацию затрат при строительстве. Рассматриваемая сборная железобетонная каркасная система с безбалочными бескапитальными перекрытиями «УИКСС» обладает улучшенными технико-экономическими характеристиками относительно аналога – системы «Куб» за счет применения технологии штепсельных стыков для соединения колонн с плитами перекрытия, положительно зарекомендовавших себя при организации стыков колонн.

Особенностью расчетов каркаса является необходимость проверки несущей способности штепсельных стыков колонн с надколонными плитами перекрытия. В статье рассматриваются разработанные на основе выполненных ранее численных и экспериментальных исследований методики определения несущей способности элементов железобетонного каркаса «УИКСС». Определено, что расчеты конструкций по первой группе предельных состояний следует проводить для стадии монтажа и эксплуатационной стадии. Возникающие в стыках комбинации усилия ведут к необходимости оценки прочности при действии сжимающих нагрузок со случайным эксцентриситетом, внецентренном сжатии, в том числе при действии изгибающего момента в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а также при возникновении горизонтальных сдвигающих усилий.

Экспериментальные и численные исследования подтвердили, что при действии вертикальных сжимающих усилий механику разрушения элементов стыка целесообразно описывать с использованием авторской теории силового сопротивления анизотропных материалов сжатию. Предлагаемые в статье методики расчета прочности при сжатии основаны на данной теории с учетом выявленных особенностей работы элементов конструкций. Расчет прочности при действии горизонтальных сдвигающих усилий основан на методе предельного равновесия по аналогии с расчетом штепсельных стыков колонн, но учитывает выявленные особенности, заключающиеся в работе армирования конструкций и необходимости отдельной проверки несущей способности торцевых участков верхней и нижней колонн.

Применение предлагаемых методик позволяет оценить прочность и обеспечить конструктивную безопасность несущей системы «УИКСС» при проектировании.

Ключевые слова: железобетонный каркас; несущая система; штепсельный стык; несущая способность; расчет прочности; теория силового сопротивления материалов сжатию.

Введение. Повышение качества и снижение сроков строительства зданий в настоящее время является одной из основных задач строительного комплекса. Предлагаемая сборная железобетонная каркасная система с безбалочными бескапитальными перекрытиями и штепсельными стыками элементов «Универсальная индустриальная каркасная система строительства» («УИКСС») [1] позволяет добиться положительного технико-

экономического эффекта при внедрении.

На рисунке 1 показана схема базовой ячейки каркаса в плане и разрезе, а также узел соединения колонн с плитой перекрытия. Данный узел (рис. 1б) представляет собой следующую конструкцию: из оголовка колонны нижележащего этажа (1) выходят выпуски арматуры (2), на которые монтируется плита перекрытия (5) с четырьмя отверстиями (6) и колонна верхнего этажа (3), имеющая в торце

скважины (4). После установки конструкций в проектное положение через специальные отверстия (7) в тело колонны инжектируется рас-

твор, заполняющий скважины и швы между элементами, образованные за счет центрирующих прокладок (8).

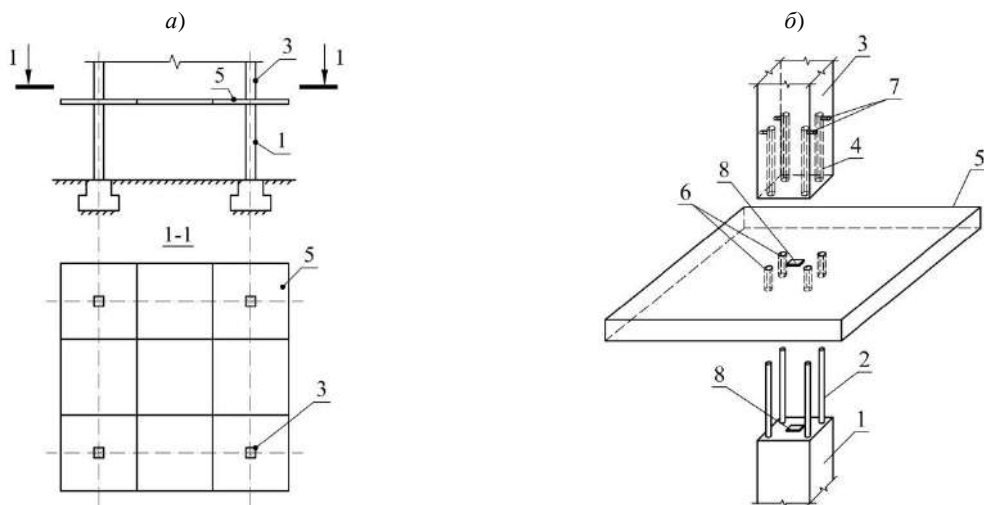


Рисунок 1. Несущая система УИКСС: а – фрагмент системы; б – штепсельный стык колонн с надколонной плитой

Проектирование зданий с применением каркасной системы «УИКСС» должно проводиться с учетом требований действующей нормативно-технической документации, при этом необходимо выполнение расчетов несущих конструкций по первой и второй группам предельных состояний. Особенностью проектирования таких каркасов является выполнение расчетов прочности и деформативности штепсельного стыка колонн с плитами перекрытия.

Цель данной работы состоит в разработке методик расчета несущей способности штепсельных стыков колонн с плитами перекрытия системы «УИКСС».

Для достижения цели необходимым является выполнение следующих **задач**:

1) определение теоретических основ для разработки методик расчета несущей способности стыка на основе анализа существующих вариантов узлов соединения железобетонных конструкций, которые имеют аналогичный или близкий характер работы к изучаемому;

2) проведение компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния несущей системы «УИКСС» и ее элементов при варьировании факторами с доведением моделей до виртуального разрушения;

3) выполнение экспериментальных исследований штепсельных стыков колонн с плитами перекрытий и их сравнение с результатами компьютерного моделирования;

4) разработка методик расчета стыка надколонной плиты с колоннами по предельным состояниям и их сравнение с результатами опытов.

Решению задач с первой по третью посвящены опубликованные ранее авторские работы [2, 3]. В данной статье представлены методики определения прочности штепсельных стыков плит с колоннами, основанные на результатах выполненных теоретических, численных и экспериментальных исследований.

Методики расчета. В соответствии с рекомендациями по расчету контактных стыков [4], расчет несущей способности необходимо выполнять для двух стадий работы – стадии монтажа и эксплуатационной стадии.

Расчетам подлежат следующие конструкции:

- торцевые участки нижней и верхней колонн;
- надколонная плита перекрытия.

При разработке методик расчета были использованы результаты выполненных исследований, принципы теории силового сопро-

тивления анизотропных материалов сжатию [5, 6] и метода предельного равновесия.

Расчет прочности стыка в монтажной стадии. Расчет заключается в определении сопротивления конструкций при действии монтажных нагрузок. Для предлагаемого стыка необходимо выполнение расчета прочности оголовка нижележащей колонны и надколонной плиты перекрытия, при этом методика расчета зависит от принятого конструктивного решения, заключающегося в применении стальных центрирующих прокладок, размер которых меньше размеров поперечного сечения колонны, либо синтетических прокладок, полностью закрывающих торец колонны.

На рисунке 2 приведена расчетная схема оголовка колонны, основанная на теории силового сопротивления материалов сжатию при передаче усилий через стальную центри-

рующую прокладку (L_{loc}). При использовании синтетических прокладок усилие передается по всей торцевой поверхности колонны ($L_{loc} = a$).

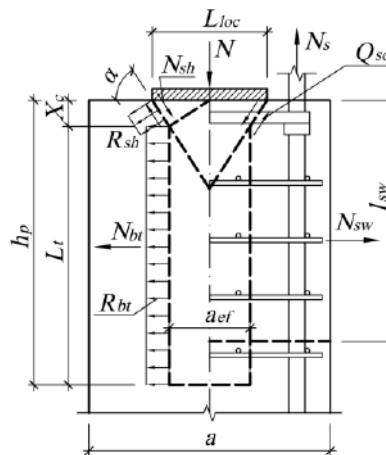


Рисунок 2. Расчетная схема колонны в монтажной стадии

Таблица 1

Параметры оценки прочности оголовка нижней колонны по выражению (1)

Наименование параметра	Выражение для определения параметра
Сопротивления бетона отрыву, сдвигу, раздавливанию, поперечных стержней растяжению, поперечных стержней сдвигу, продольной арматуры колонны	$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bt} = R_{bt} \cdot 4 \cdot L_t \cdot a$ (2)
	$N_{sh} = R_{sh} \cdot A_{sh} = 3R_{bt} \cdot L_{loc}^2 \cdot (\sin^2 \alpha + 1) \cdot \cos \alpha$ (3)
	$N_{ef} = R_b \cdot A_{ef} = R_b \cdot L_{loc}^2 \cdot \sin^4 \alpha$ (4)
	$N_{sw} = 4 \cdot \omega \cdot \gamma_{sw} \cdot q_{sw} \cdot l_{sw}$ (5)
	$Q_{sd} = 0,667 \cdot \sum_{i=1}^n R_s \cdot A_{sw,i} \cdot \sin \alpha$ (6)
	$N_s = R_s \cdot A_s$ (7)
Высота сжато-растянутой зоны	$L_t = h_p - 0,25 \cdot L_{loc} \cdot \sin 2\alpha$ (8)
Длина плоскости сдвига	$L_{sh} = 0,5 \cdot L_{loc} \cdot \cos \alpha$ (9)
Размеры сжатого ядра сечения	$a_{ef} = L_{loc} \cdot \sin^2 \alpha$ (10)
Расчетная высота стыка	$h_p = 0,4 \cdot L_{loc} + 0,9 \cdot a$ (11)
Коэффициент полноты эпюры растягивающих напряжений в стержнях сеток	$\omega = 1 - \frac{l_{sw} - 0,25 \cdot L_{loc} \cdot \sin 2\alpha}{4 \cdot a}$ (12)
Коэффициент эффективности косвенного армирования	$\gamma_{sw} = 1 - \frac{A_{sw} \cdot R_{sw}}{\epsilon_{bt,ult} \cdot E_s \cdot a \cdot S_w}$ (13)
Усилие в поперечной арматуре на единицу длины	$q_{sw} = \frac{A_{sw} \cdot R_{sw}}{S_w}$ (14)
Коэффициент использования продольного армирования колонны	$\gamma_s = -0,75 \cdot \left(\frac{L_{loc}}{a}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{L_{loc}}{a}\right) - 0,25;$ $\gamma_s = 0, \text{ при } L_{loc} \leq \frac{1}{3} a$ (15)
<i>l_{sw}</i> – эффективная длина зоны поперечного армирования (расстояние от торца нагруженной грани до оси последней сетки, не более высоты сечения колонны); <i>A_{sw}</i> – суммарная площадь стержней одной сетки, пересекающих одну плоскость отрыва; <i>R_{sw}</i> – расчетное сопротивление стержней поперечной арматуры растяжению; <i>ε_{bt,ult}</i> – предельная относительная деформация бетона при осевом растяжении; <i>E_s</i> – модуль упругости арматуры; <i>a</i> – ширина (длина) поперечного сечения колонны при <i>b</i> = <i>h</i> = <i>a</i> ; <i>S_w</i> – шаг сеток косвенного армирования; <i>A_s</i> – площадь продольной арматуры колонны	

Условие прочности для оголовка нижней колонны в монтажной стадии записывается в виде выражения (1). Параметры, входящие в выражение (1), представлены в таблице 1.

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

Оценка прочности плиты перекрытия в монтажной стадии от нагрузки, передающейся через центрирующую прокладку, выполняется на основе схемы, показанной на рисунке 3.

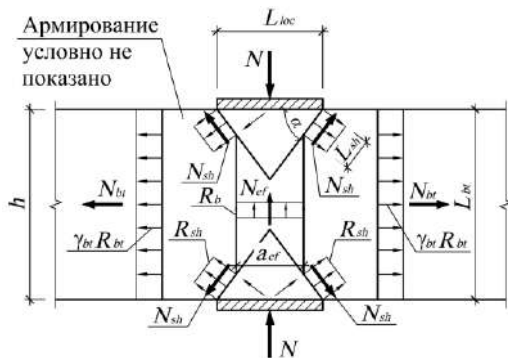


Рисунок 3. Расчетная схема надколонной плиты при действии монтажных нагрузок

Условие прочности записывается в виде следующего выражения:

$$N \leq N_{ult} = \left(\frac{[N_{bt} \cos \alpha + N_{sh}]}{\sin \alpha} + N_{ef} + \omega_1 \cdot (Q_{sd1} + Q_{sd2}) \right), \quad (16)$$

где Q_{sd1} , Q_{sd2} – сопротивление стержней верхней и нижней сеток армирования при изгибе; $\omega_1 = 0,35$ – коэффициент условия работы стержней продольного армирования плиты.

В данном случае происходит повышение сопротивления бетона отрыву N_{bt} (17) за счет работы бетона плиты в сжатой полосе в стесненных условиях, что необходимо учитывать повышающим коэффициентом γ_{bt} , рассчитываемым по формуле (18).

$$N_{bt} = \gamma_{bt} R_{bt} \cdot (4 \cdot h \cdot L_{loc}), \quad (17)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона на

растяжение; h – высота плиты; L_{loc} – ширина зоны передачи нагрузки.

$$\gamma_{bt} = \frac{2.7h}{L_{loc}} + 0.8. \quad (18)$$

Расчет конструкций стыка в монтажной стадии позволяет оценить несущую способность элементов, скорректировать геометрические размеры центрирующих прокладок и определить целесообразность установки сеток косвенного армирования, что снижает металлоемкость конструкций. Заполнение скважин раствором является завершением монтажной стадии, так как данная операция обеспечивает совместную работу всех элементов стыка для восприятия эксплуатационных нагрузок.

Расчет прочности стыка в стадии эксплуатации. В эксплуатационной стадии в стыке колонн с плитой в безбалочных перекрытиях могут возникать продольные и поперечные силы, а также изгибающие и крутящие моменты (рис. 4). Действие крутящих моментов в элементах стыка сводится к минимуму за счет установки в несущей системе диафрагм жесткости, поэтому их влияние не рассматривается. Возможность возникновения различных комбинаций усилий вызывает необходимость проверки несущей способности конструкций при действии продольных сил со случайным эксцентриситетом, при внецентренном сжатии, в том числе при возникновении расчетного эксцентриситета в двух направлениях, при действии горизонтальных сдвигающих усилий.

На рисунке 5 приведена расчетная схема, применяемая при выполнении расчета прочности стыка при действии **продольных сил со случайным эксцентриситетом**, в случае которого нагрузка передается по всему сечению торцевого участка колонны, так как выполнено заполнение швов раствором. Условие прочности оголовка нижней колонны определяется рассмотренным ранее выражением (1) при условии, что $L_{loc} = a$, где a – геометрический размер сечения квадратной колонны.

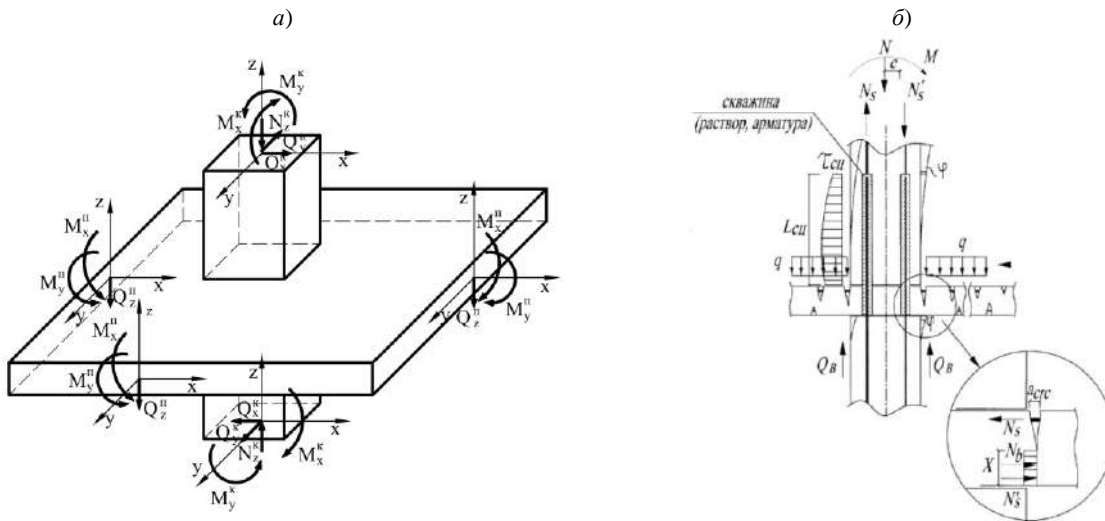


Рисунок 4. Усилия (а) и результаты их воздействия (б) на работу элементов стыка при действии эксплуатационных усилий

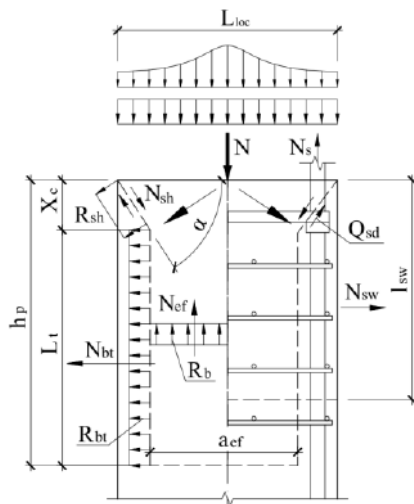


Рисунок 5. Расчетная схема торцевого участка колонны при действии продольных сил со случайным эксцентриситетом

Сопротивление арматуры в скважинах, расположенных в торцевом участке верхней колонны, должно быть учтено в условии прочности дополнительно в соответствии с исследованиями штепсельных стыков колонн [7] с коэффициентом работы $\gamma_{ck} = 0,6$:

$$N \leq N_{ult} = \left(\frac{[(N_{bt} + N_{sw}) \cos \alpha + N_{sh}]}{\sin \alpha} + N_{ef} + Q_{sd} + N_s + \gamma_{ck} N_{ck} \right) \quad (19)$$

где N_{ck} – сопротивление арматуры, расположенной в скважинах.

Таким образом, условие прочности учитывает совместную работу арматуры и бетона

в трех расчетных зонах – отрыва, сдвига и раздавливания. Если в стыке появляются трещины, сопротивление бетона в зоне отрыва не учитывается, то $N_{bt} = 0$.

Расчетные схемы торцевого участка нижней колонны *при внецентренном сжатии* приведены на рисунке 6 (без учета работы армирования) и рисунке 7 (с учетом работы армирования). Определено, что при увеличении эксцентриситета продольной силы уменьшается сжатая зона бетона, что ведет к разрушению конструкции от сдвига, происходящего по плоскости, являющейся гранью клина сжатой зоны (рис. 6б).

При действии продольных сил со случайным эксцентриситетом условие прочности торцевого участка нижней колонны определяется выражением

$$N \leq N_{ult} = \gamma_e \left(\frac{[(N_{bt} + N_{sw}) \cos \alpha + N_{sh}]}{\sin \alpha} + N_{ef} + Q_{sd} + N'_s \right) \quad (20)$$

Условие прочности и расчетная схема торцевого участка верхней колонны дополняется аналогично выражению (19) сопротивлением сжатого продольного армирования в скважинах (N'_{ck}) с коэффициентом $\gamma_{ck} = 0,6$.

Исследования напряженно-деформированного состояния стыка позволили получить параметры (табл. 2), необходимые для составления расчетных выражений параметров, входящих в условие прочности (20).

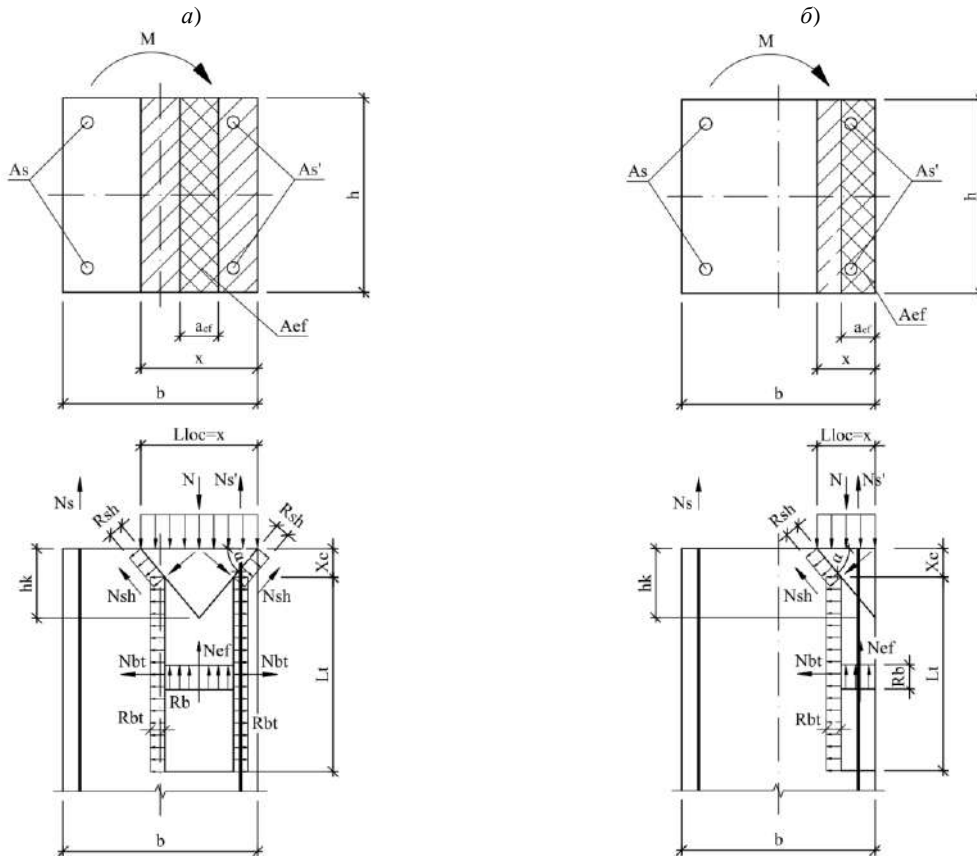


Рисунок 6. Расчетные схемы торцевых участков колонн при внецентренном сжатии

Таблица 2

Параметры оценки прочности торцевых участков колонны при внецентренном сжатии по выражению (20)

Наименование параметра	Выражение для определения параметра
Коэффициент, учитывающий влияние величины эксцентриситета	$\gamma_e = 1 - 0,55 \frac{e_0}{a}$ (21)
Сопротивление бетона отрыву (происходит по двум плоскостям)	$N_{bt} = 2 \cdot R_{bt} \cdot a \cdot (h_p - 0,25 \cdot x \cdot \sin 2\alpha)$ (22)
Сопротивление бетона сдвигу (учитывается на всей ширине колонны)	$N_{sh} = R_{sh} \cdot A_{sh} = 3R_{bt} \cdot a \cdot (x \cdot \cos \alpha)$ (23)
Сопротивление бетона раздавливанию (учитывается на всей ширине колонны)	$N_{ef} = R_{sh} \cdot A_{ef} = R_b \cdot a \cdot (x \cdot \sin^2 \alpha)$ (24)
Сопротивление стержней сеток косвенного армирования (учитывается по поверхности, находящейся в глубине тела колонны)	$N_{sw} = \omega \cdot \gamma_{sw} \cdot q_{sw} \cdot l_{sw}$ (25)
Сопротивление хомутов, попадающих в область сдвига (учитывается по пересечению одной плоскости)	$Q_{sd} = 0,667 \cdot \sum_{i=1}^n R_s \cdot A_{swx,i} \cdot \sin \alpha$ (26)
Сопротивление сжатых стержней продольного армирования	$N'_s = R_s \cdot A'_s$ (27)
Расчетная высота стыка при внецентренном сжатии	$h_p = 0,75x + 0,67a$ (28)

e_0 – величина эксцентриситета; a – ширина сечения квадратной колонны

Расчетные схемы торцевых участков колонн при возникновении **расчетного эксцентриситета в двух направлениях** представ-

лены на рисунке 7. Предельное усилие, воспринимаемое оголовком нижней колонны, определяется следующим выражением:

$$N_{ult} = \left(\frac{[(N_{bt,x} + N_{bt,y} + N_{sw,x} + N_{sw,y}) \cos \alpha + N_{sh,x} + N_{sh,y}]}{\sin \alpha} + N_{ef} + Q_{sd,x} + Q_{sd,y} + N'_{s1} + \gamma_{s2} \cdot N'_{s2} \right), \quad (29)$$

где N'_{s1} – сопротивление продольного армирования, расположенного в зоне передачи нагрузки; N'_{s2} – сопротивление продольного армирования, попадающего в об-

ласть сжатия от действия момента одного направления; γ_{s2} – коэффициент условия работы продольной арматуры, определяемый по выражению (15).

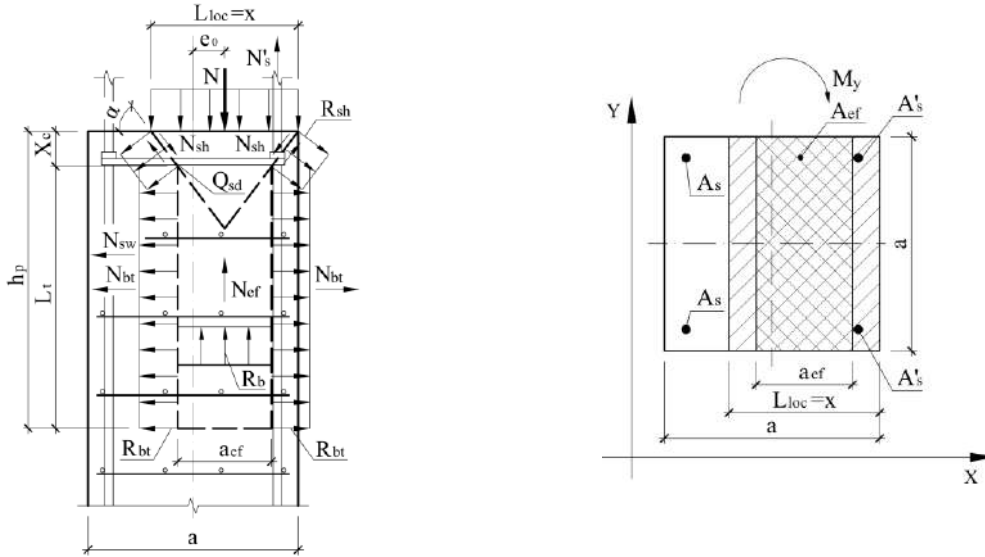


Рисунок 7. Расчетные схемы торцевых участков колонн при внецентренном сжатии с учетом работы армирования

Сопротивление стержней, расположенных в скважинах верхней колонны (N'_{ck1} , N'_{ck2}),

учитывается дополнительно коэффициентом $\gamma_{ck} = 0,6$ (рис. 8б).

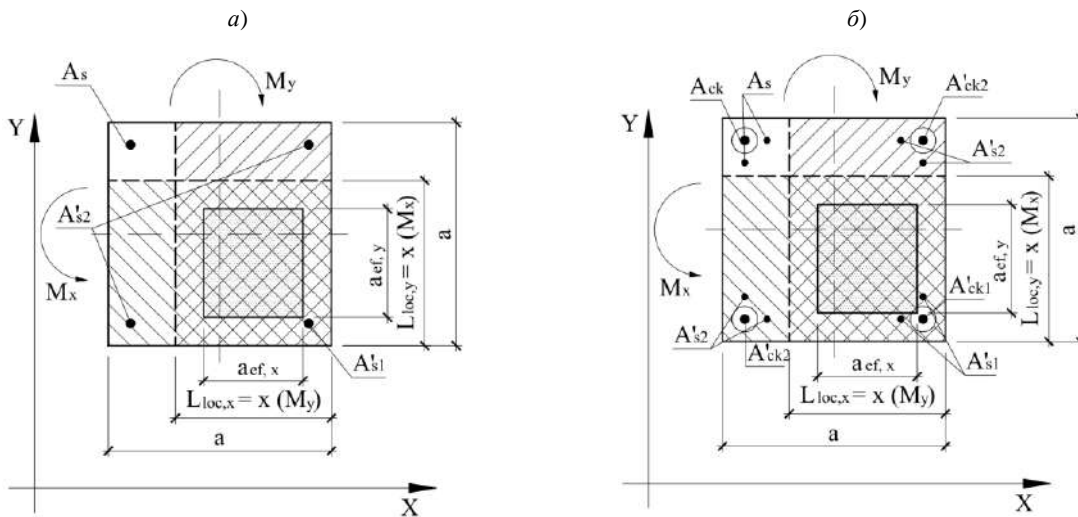


Рисунок 8. Расчетная схема нижней (а) и верхней (б) колонн при действии моментов в двух направлениях

Прочность стыков *при действии горизонтальных сдвигающих усилий* выполняется по методике, основанной на методе предельного равновесия. Предлагаемая расчетная схема показана на рисунке 9 и представляет

собой модернизацию схемы, полученной ранее при исследовании штепсельных стыков колонн [7]. Отличие заключается в том, что в данном случае учитывается наличие двух горизонтальных плоскостей сдвига.

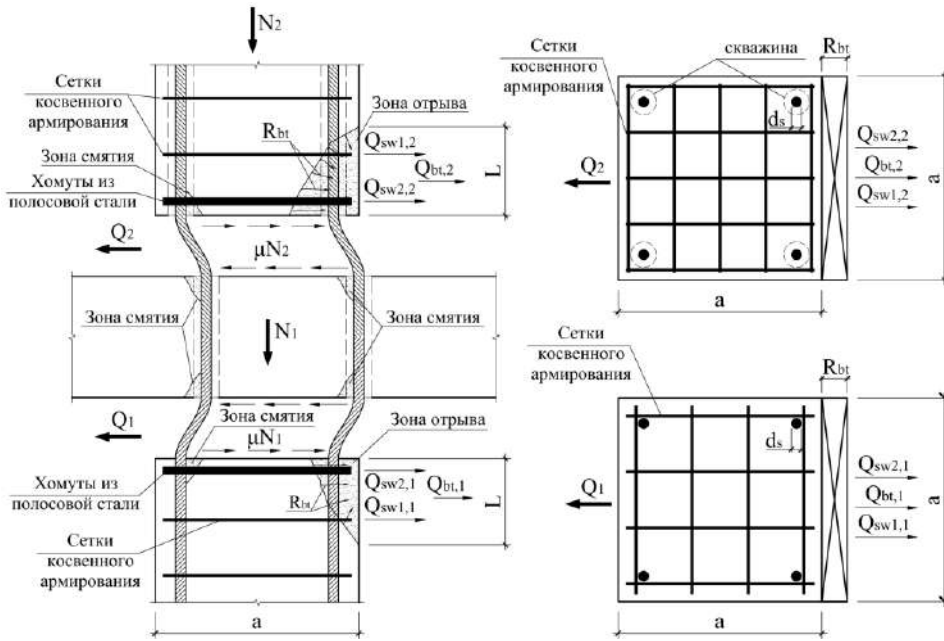


Рисунок 9. Расчетная схема стыка при действии горизонтальных сдвигающих усилий

Согласно статическому расчету железобетонного каркаса «УИКСС», в верхней и нижней колоннах возникают различные по величине продольные и поперечные усилия. В связи с этим требуется выполнение проверки торцевых участков колонн по условию

прочности:

$$Q \leq Q_{ult} = Q_{bt} + Q_{sw1} + Q_{sw2} + Q_s + N \cdot \mu \quad (30)$$

Слагаемые, участвующие в обеспечении прочности торцевых участков колонн, показаны в таблице 3.

Таблица 3

К определению прочности торцевого участка колонны при сдвиге

Наименование, параметр	Выражение для определения сопротивления
Сопротивление бетона колонны отрыву	$Q_{bt} = A_{bt} R_{bt} = a \cdot L \cdot R_{bt} \quad (31)$
Сопротивление стержней сеток косвенного армирования, расположенных в зоне отрыва бетона	$Q_{sw1} = k_1 \sum_{i=1}^n R_{s1} A_{sw1,i} \quad (32)$
Сопротивление хомутов из полосовой стали	$Q_{sw2} = k_2 \sum_{i=1}^k R_{s2} A_{sw2,i} \quad (33)$
Сопротивление продольного армирования, попадающего в зону отрыва бетона	$Q_s = 0,45 \sum_{i=1}^m R_s \cdot A_{s,i} \quad (34)$
Сопротивление плоскости сдвига за счет сил трения контактного слоя «бетон – раствор»	$N \cdot \mu$

L – рабочая высота стыка ($L = 5d_s$ при наличии хомутов из полосовой стали); k_1, k_2 – коэффициенты полноты эпюр растягивающих напряжений ($k_1 = 0,45$; $k_2 = 0,5$ верхней колонны, $k_2 = 1$ нижней колонны); μ – коэффициент трения по контакту «бетон – раствор», равный 0,32

Выводы. Разработанные методики расчета прочности показали достаточную сходимость с выполненными физическими и численными экспериментами [8]. Таким образом, расчеты элементов несущей системы «УИКСС», выполняемые в соответствии с действующими нормами проектирования, в

совокупности с проверками по разработанным методикам позволяют проводить проектирование предлагаемой каркасной системы исходя из условий обеспечения их конструктивной безопасности. Однако немаловажным при проектировании также является вопрос деформативности стыков несущей системы

«УИКСС», результаты изучения которого позволит также выполнять расчет каркаса по будут опубликованы в ближайшее время, что II группе предельных состояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 141473 Российская Федерация, МПК E04B1/20 U1. Универсальная индустриальная каркасная система строительства – Татарстан (УИКСС–Татарстан) / Соколов Б.С.; заявитель и патентообладатель Соколов Б.С. № 2013128714/03; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. 2 с.
2. Соколов Б. С., Трошков Е. О. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния штепсельных стыков железобетонных колонн с плитами перекрытия при косом внецентренном сжатии // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. № 3. С. 126-135.
3. Трошков Е. О., Соколов Б. С., Поздеев В. М. Экспериментальные исследования штепсельных стыков II типа на сжатие со случайным эксцентриситетом // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия / под ред. А. Г. Тамразяна, Д. Г. Копаницы. Москва: МГСУ, 2016. С. 394-398.
4. Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий. Москва: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. 49 с.
5. Соколов Б. С. Теория силового сопротивления анизотропных материалов сжатию и ее практическое применение: монография. Москва: Изд-во АСВ, 2011. 160 с.
6. Соколов Б. С. Теоретические основы методики расчета штепсельных стыков железобетонных конструкций зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2016. № 3. С. 60-63.
7. Соколов Б. С., Латыпов Р. Р. Прочность и податливость штепсельных стыков железобетонных колонн при действии статических и сейсмических нагрузок: монография. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. 128 с.
8. Трошков Е. О., Соколов Б. С. Сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований штепсельных стыков сборных железобетонных колонн с плитами перекрытий // Жилищное строительство. 2017. № 7. С. 41-46.

Информация об авторах

СОКОЛОВ Борис Сергеевич – член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, научный консультант АО «Казанский Гипрониавиапром», г. Казань. Область научных интересов – бетонные и железобетонные конструкции, каменные и армокаменные конструкции, горизонтальные стыки железобетонных элементов, диаграммные методы расчета. Количество опубликованных работ около 300. E-mail: sbs.1942@mail.ru

ТРОШКОВ Евгений Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – бетонные и железобетонные конструкции, компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций. Количество опубликованных работ – 20. E-mail: troshkoveo@mail.ru

UDC 69.07

DOI: 10.25686/2542-114X.2020.1.51

**DETERMINING THE LOAD-BEARING CAPACITY
OF THE ELEMENTS IN A BUILT-UP REINFORCED
CONCRETE FRAME "UIKSS"****B. S. Sokolov^{1,3}, E. O. Troshkov^{2,3}**¹Joint-stock company «Kazan Giproniaviaprom» (Kazan)²Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)³Research Institute of Building Physics RAASN (Moscow)

The development of new bearing systems of buildings and structures is an important task, as it is aimed at increasing the performance of production, reducing material consumption and

minimizing construction costs. The prefabricated reinforced concrete frame system "UIKSS" has improved technical and economic characteristics relative to its analogue – the "KUB" system due to the use of plug-in joint technology for connecting columns with floor slabs that have proven themselves in the organization of column joints.

A distinctive feature of frame calculations is necessity to check bearing capacity of the plug joints of columns with slabs. The article discusses the methods developed for the determination of the load-bearing capacity of the elements of the reinforced concrete frame "UIKSS" developed on the basis of previously performed numerical and experimental studies. It was determined that structural calculations for the first group of limit states should be carried out for the installation stage and the operational stage. The combinations of forces arising at the joints make it necessary to assess the strength under the action of compressive loads with random eccentricity, eccentric compression, including the action of a bending moment in two mutually perpendicular directions, as well as the occurrence of horizontal shear forces.

Experimental and numerical studies have confirmed that under the action of vertical compressive forces, it is advisable to describe the mechanics of the destruction of joint elements using the author's theory of the force resistance of anisotropic materials to compression. The methods of calculating the compressive strength proposed in the article are based on this theory, taking into account the identified features of structural elements work. The calculation of strength under the action of horizontal shear forces is based on the method of limit equilibrium by analogy with the calculation of plug joints of columns, but taking into account the identified features consisting in the work of reinforcing structures and the need for separate verification of the bearing capacity of the end sections of the upper and lower columns.

The application of the proposed methods allows us to assess strength and ensure the structural safety of the load-bearing system "UIKSS" during design.

Keywords: reinforced concrete frame; supporting system; plug joint; bearing capacity; strength calculation; theory of material resistance to compression.

REFERENCES

1. Patent 141473 Rossijskaja Federacija, MPK E04V1/20 U1. Universal'naja industrial'naja karkasnaja sistema stroitel'stva – Tatarstan (UIKSS–Tatarstan) [Pat. 141473 Russian Federation, IPC E04B1/20 U1. Universal industrial frame construction system-Tatarstan (UIKSS-Tatarstan)] / Sokolov B.S.; zjavitel' i patentoobladatel' [Applicant and patent holder] Sokolov B.S. No 2013128714/03; application 24.06.2013; published. 10.06.2014, Bulletin No. 16, 2 p.
2. Sokolov B.S., Troshkov E.O. Komp'juternoe modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija shtepsel'nyh stykov zhelezobetonnyh kolonn s plitami perekrytija pri kosom vnecentrennom szhatii [Computer simulation of the stress-strain state of plug joints of reinforced concrete columns with slabs under oblique off-center compression], *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2018, No. 3, pp. 126-135.
3. Troshkov E.O., Sokolov B.S., Pozdeev V.M. Eksperimentalnye issledovanija shtepsel'nyh stykov II tipa na szhatie so sluchajnym jekscentrisitetom [Experimental studies of type II compression plug joints with random eccentricity], *Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij, zdaniij i sooruzhenij na avarijnye vozdejstvija* [Modern problems of calculation of reinforced concrete structures, buildings and structures on the impact of emergency]; edited by A.G. Tamrazjana, D.G. Kopanicy, Moscow: MGSU, 2016, pp. 394-398.
4. Rekomendacii po proektirovaniju i vypolneniju kontaktnyh stykov s obryvom armatury v zhelezobetonnyh kolonnah mnogojetazhnyh zdaniij [Recommendations for the design and implementation of contact joints with breakage of reinforcement in reinforced concrete columns of multi-storey buildings], Moscow: NIIZhB Gosstroja SSSR, 1985, 49 p.
5. Sokolov B.S. Teorija silovogo soprotivlenija anizotropnyh materialov szhatiju i ee praktičeskoe primenenie [Theory of force resistance of anisotropic materials to compression and its practical application]: monograph, Moscow: ASV Publishing house, 2011, 160 p.
6. Sokolov B.S. Teoreticheskie osnovy metodiki rascheta shtepsel'nyh stykov zhelezobetonnyh konstrukcij zdaniij i sooruzhenij [Theoretical bases of the method of calculating plug joints of reinforced concrete structures of buildings and structures], *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing construction], 2016, No. 3, pp. 60-63.
7. Sokolov B.S. Latypov R.R. Prochnost' i podatlivost' shtepsel'nyh stykov zhelezobetonnyh kolonn pri dejstvii statičeskih i sejsmicheskih nagruzok [Strength and flexibility of plug joints of reinforced concrete columns under the action of static and seismic loads]: monograph, Moscow: ASV Publishing house, 2010, 128 p.

8. Troshkov E.O., Sokolov B.S. Sravnenie rezul'tatov komp'yuternogo modelirovaniya i eksperimental'nyh issledovaniy shtepsel'nyh stykov sbornyh zhelezobetonnyh kolonn s plitami perekrytij [Comparison of results of computer modeling and experimental studies of plug joints of precast concrete columns with slabs], *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing construction], 2017, No. 7, pp. 41-46.

Information about the authors

SOKOLOV Boris Sergeevich – Corresponding Member of RAASN, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific Consultant of Kazan Giproniaviaprom JSC, Kazan. Research interests – concrete and reinforced concrete structures, stone structures, horizontal joints of reinforced concrete elements, diagram calculation methods. Author of about about 300 publications. E-mail: sbs.1942@mail.ru

TROSHKOV Evgenii Olegovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures and Water Supply of Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – concrete and reinforced concrete structures, computer simulation of the stress-strain state of structures. Author of 20 publications. E-mail: troshkoveo@mail.ru

Библиографическая ссылка

Соколов Б. С., Трошков Е. О. Особенности определения несущей способности элементов сборного железобетонного каркаса «УИКСС» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2020. – № 1(13). – С. 51-61. – DOI: 10.25686/2542-114X.2020.1.51