

УДК 624.042.6

*БАЛДИН ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
biwem@yandex.ru*

*УТКИН ДМИТРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
udg70@mail.ru*

*БАЛДИН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук,
serb169@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ КОЛОННЫ И НЕСУЩИХ РИГЕЛЕЙ СИСТЕМЫ «КУПАСС» *

Проведены экспериментальные исследования узлов сопряжения, состоящих из двух фрагментов ригелей и фрагмента колонны на действие статических нагрузок. Получены новые экспериментальные данные, характеризующие работу узлов сопряжения ригелей с колонной, выявлены особенности деформирования, трещинообразования и разрушения таких конструкций при статическом нагружении. Произведены аналитические расчеты узлов сопряжения фрагментов ригелей с колонной с учетом областей относительного сопротивления по прочности, результаты которых показали хорошую сходимость с экспериментальными данными.

Ключевые слова: фрагменты ригелей; узел сопряжения; статическое нагружение; эксперимент; область относительного сопротивления.

*IGOR V. BALDIN, PhD, A/Professor,
biwem@yandex.ru*

*DMITRIY G. UTKIN, PhD, A/Professor,
udg70@mail.ru*

*SERGEY V. BALDIN, PhD,
serb169@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

STATIC LOAD TESTING FOR BEAM-TO-COLUMN CONNECTION IN UNIVERSAL PREFABRICATED ANTISEISMIC STRUCTURAL SYSTEM

The paper presents the research results obtained for the beam-to-column connection under static load. New experimental data are given for the behavior of the beam-to-column connection, deformation properties, crack propagation and failure of these structures induced by the static load. Analytical calculations of the beam-to-column connections are presented accounting for areas of the relative strength ratio.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Keywords: longitudinal girder; beam-to-column connection; static load; experiment; strength ratio.

ФГБУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» и АО «Иркутский Промстройпроект» разработана новая система энергоресурсосберегающего жилья экономического класса на основе каркасной универсальной полносборной архитектурно-строительной системы (КУПАСС). Узлы сопряжения несущих элементов каркаса предполагается выполнять путем обжатия продольной рабочей арматуры при помощи обжимных муфт с последующим их омоноличиванием.

Для исследования особенностей работы узлов сопряжения колонн и ригелей каркаса ООО ЗКПД ТДСК изготовлены экспериментальные образцы узлов сопряжения, состоящие из двух фрагментов ригелей и фрагмента колонны каждый.

Образцы узлов сопряжения колонн с ригелями запроектированы высотой колонны $H = 1300$ мм, сечением колонны $b \times h = 400 \times 400$ мм, длиной ригелей $L = 1500$ мм. Фрагменты ригелей таврового сечения общей высотой 400 мм, с шириной полки 400 мм, высотой полки 230 мм, шириной ребра 200 мм. На участках торцевых поверхностей ригелей и боковых поверхностей колонн в зонах стыковки предусматривается устройство шпонок с глубиной 10 мм.

Фрагменты колонны и ригелей выполнены из тяжелого бетона класса В40.

Фрагменты колонны армируются пространственным арматурным каркасом из 4 стержней класса А500СП диаметром 28 мм. Поперечная арматура диаметром 8 мм А500СП, с шагом 100 мм. В колоннах предусмотрены отверстия (гильзы) для пропуска арматурных выпусков и опорные консоли из уголков для стыковки с несущими ригелями.

Фрагменты ригелей армируются пространственным арматурным каркасом с 2 стержнями верхнего армирования диаметром 28 мм класса А500СП и 4 стержнями нижнего армирования диаметром 20 мм класса А500СП. Поперечная арматура в виде хомутов из арматуры класса А500СП крепится к продольным стержням на сварке или при помощи вязальной проволоки. Ригели по торцам в нижней зоне имеют опорные уголки.

Монтаж несущих ригелей предусматривается на выпуски из колонны – опорные консоли (прокатные уголки $125 \times 80 \times 8$ мм) – с соединением электродуговым сварным швом опорных уголков ригеля и верхней кромки опорных консолей. Стыковка верхних продольных арматурных стержней ригелей и арматурных выпусков из колонны предусматривается с применением обжимных муфт. В зоне стыка устанавливаются дополнительные замкнутые хомуты из арматуры диаметром 8 и 10 мм класса А240. Замоноличивание стыка ригелей с колонной осуществляется мелкозернистым бетоном класса В40.

Конструкция стыка ригелей с колоннами представлена на рис. 1.

Испытания узлов сопряжения колонны и несущих ригелей каркаса конструктивной системы «КУПАСС» на действие статических нагрузок проводились в соответствии с ГОСТ 8829–94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением» в лаборатории испытаний строительных конструкций кафедры «Железобетонные

и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета.

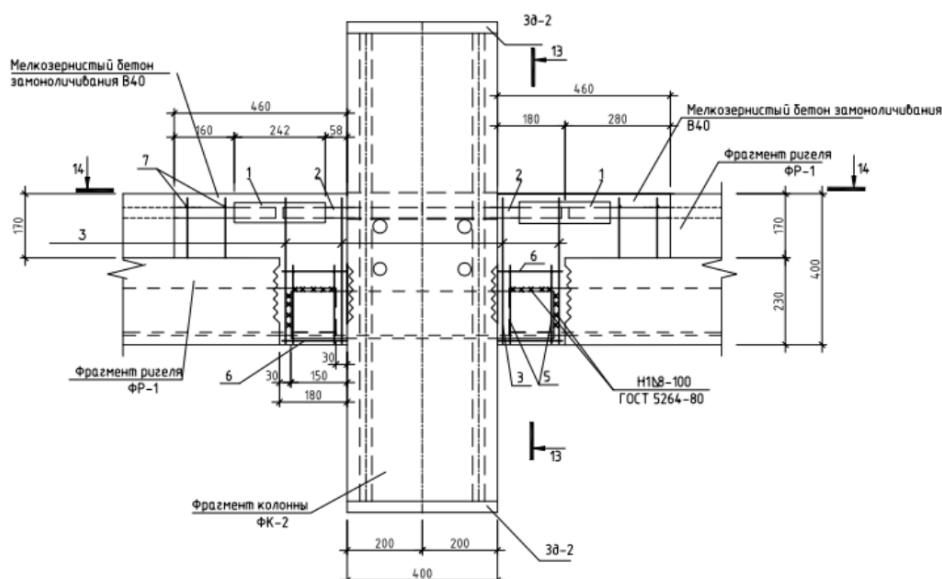


Рис. 1. Конструкция узла сопряжения ригелей с колонной

Испытания узлов сопряжения колонны и несущих ригелей проводились по двум схемам: 1 – на действие изгибающего момента; 2 – на действие поперечной силы.

Количество испытываемых образцов по каждой схеме – 3.

Схемы испытаний и загрузки опытных образцов представлены на рис. 2, 3.

Для загрузки опытных образцов использовался гидравлический пресс ПГ-1000 и два 100-тонных гидравлических домкрата ДГ-100.

В процессе испытаний использованы следующие измерительные датчики и приборы:

- тензорезисторы КС-60-120-А1-11 фирмы «KYOWA» (Япония) для измерения продольных деформаций арматуры и бетона узла сопряжения;
- тензометры рычажного типа для измерения деформаций фрагмента колонны и деформаций стыка ригелей с колонной;
- индикаторы часового типа ИЧ-10 с точностью 0,01 мм для измерения вертикальных деформаций бетона конструкции и стыка;
- электронный прогибомер ПСК-МГ4 с точностью $1 \cdot 10^{-2}$ для измерения вертикальных перемещений фрагмента колонны и концов фрагментов ригелей;
- измерительно-вычислительный комплекс МИС-400 для измерения показаний тензорезисторов (не менее 12 каналов регистрации);
- микроскоп МПБ-20 для измерения ширины раскрытия трещин.

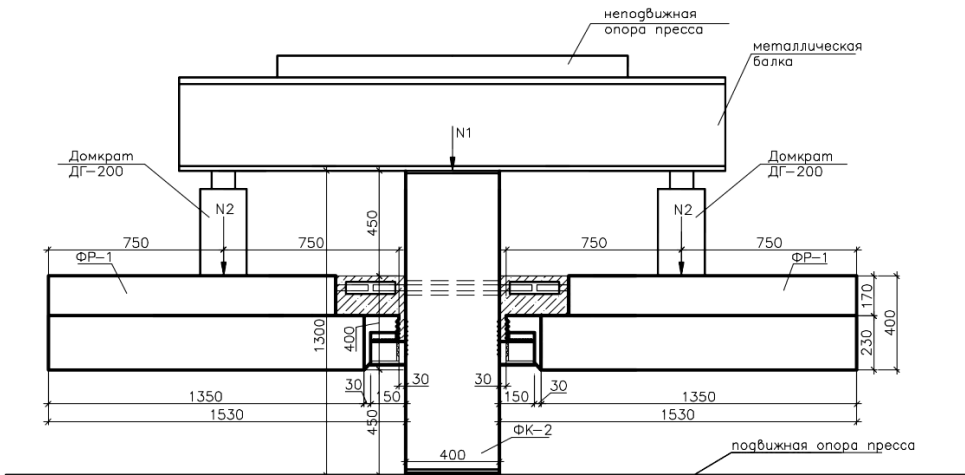


Рис. 2. Схема испытания узла сопряжения ригелей с колонной по первой схеме (на действии изгибающего момента)

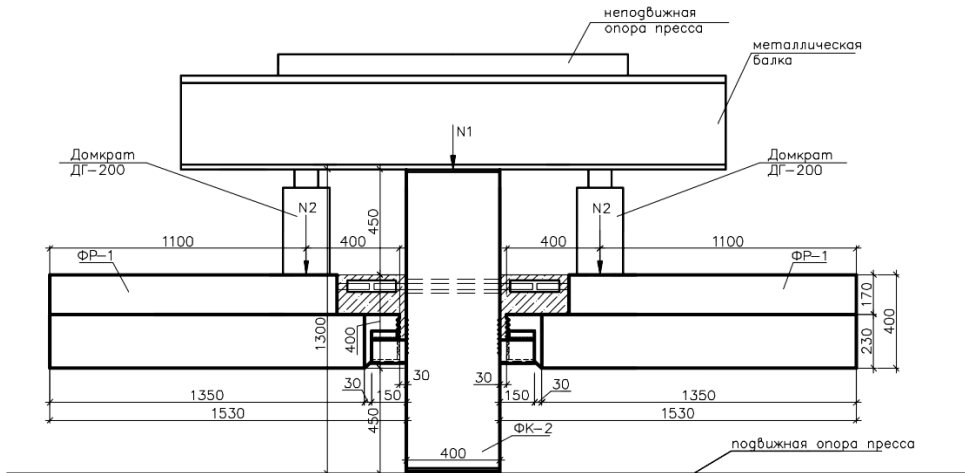


Рис. 3. Схема испытания узла сопряжения ригелей с колонной по второй схеме (на действии поперечной силы)

Испытания проводились в рабочем положении на гидравлическом прессе ПГ-1000 с нагрузкой на фрагмент колонны 3000 кН. Общий вид испытания представлен на рис. 4.

Вначале прикладывалась нагрузка на колонну этапами (ступенями) по 600 кН. Далее, после нагружения колонны до уровня 3000 кН производилось нагружение фрагментов ригелей при помощи домкратов ДГ100. Нагрузка прикладывалась этапами (ступенями) по 15...30 кН. На каждой ступени испытаний снимались показания средств измерения.

Контролируемыми параметрами и средствами измерения являлись: вертикальные перемещения фрагментов колонны и консольных участков ригелей.

лей, величина нагрузки, схемы образования и развития нормальных и наклонных трещин, деформации растянутого бетона и арматуры, ширина раскрытия трещин.



Рис. 4. Общий вид испытания узла сопряжения колонны с ригелями по первой схеме нагружения

Критерием достижения максимальных значений при испытании по первой схеме служил максимальный изгибающий момент в стыке ригелей с колонной, полученный по результатам расчета каркаса здания и равный 257,6 кН·м, а по второй схеме – максимальная поперечная сила в стыке ригелей с колонной, равная 342,16 кН. Контрольная ширина раскрытия трещин с учетом коэффициента безопасности принималась равной 0,21 мм.

В результате проведенных экспериментальных исследований все образцы узлов сопряжения колонны с ригелями были доведены до разрушения. Разрушающая нагрузка для образцов составила 600...750 кН (на каждый ригель), что составляет 174...219 % от контрольной нагрузки на каждый фрагмент ригеля. При испытании по первой схеме разрушение имело пластический характер и сопровождалось значительным ростом угла поворота ригеля в опорном сечении с раскрытием трещин более 1,0 мм, с разрушением бетона сжатой зоны. При испытании по второй схеме происходило раскрытие наклонных трещин свыше 0,5 мм.

На рис. 5 представлена характерная схема трещинообразования и разрушения в стыке колонны с ригелями. На рис. 6 показана характерная зависимость изменения величины угла поворота ригелей в опорном сечении, характеризующая податливость узла сопряжения ригелей с колонной.

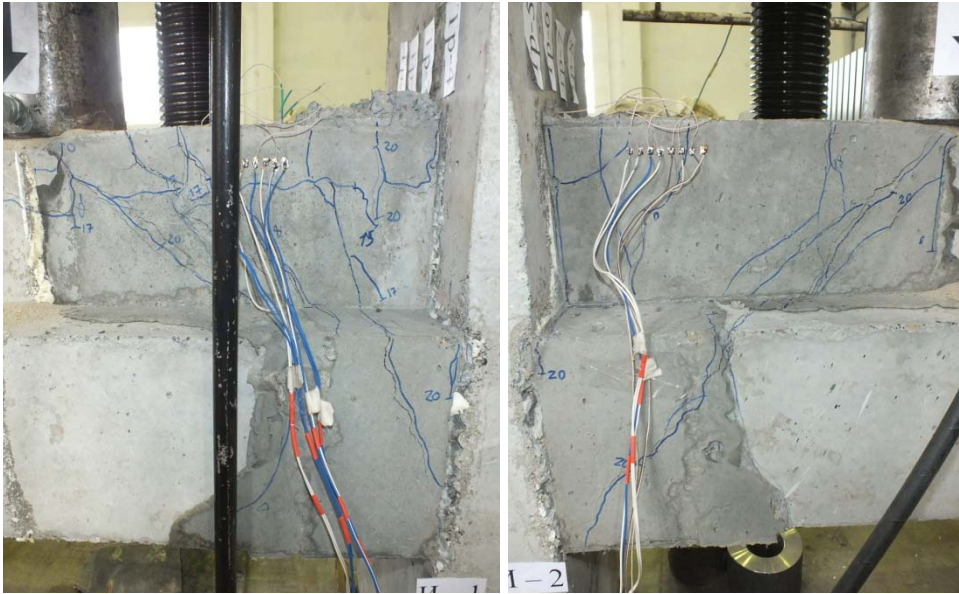


Рис. 5. Характерная схема трещинообразования в стыке ригелей с колонной при разрушении

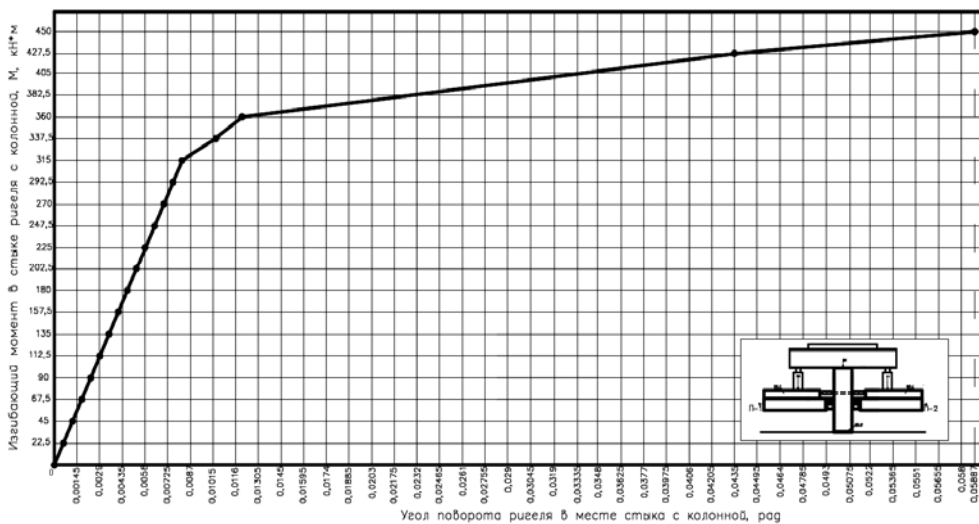


Рис. 6. Зависимость угла поворота ригелей в опорном сечении от нагрузки

По результатам исследований величина податливости узла сопряжения ригелей с колоннами (коэффициент угловой жесткости) составила $C_\varphi = (0,25 \dots 0,3) \cdot 10^5$ кН·м при действии изгибающего момента и $C_\varphi = (0,57 \dots 0,59) \cdot 10^5$ кН·м при действии поперечной силы.

Для верификации полученных экспериментальных данных была выполнена оценка несущей способности ригеля в сечении стыка с колонной. Расчеты выполнялись по программам *JBK-DM-SP* [1], *JBK-NMQ* [2], разработанным

на основе метода расчета железобетонных элементов с использованием поверхностей относительного сопротивления по прочности в пространстве координат α_n , α_m , α_q [3]. На рис. 7, 8 представлены области прочности опорного сечения ригеля с указанием точек, соответствующих теоретической и экспериментальной разрушающим нагрузкам.

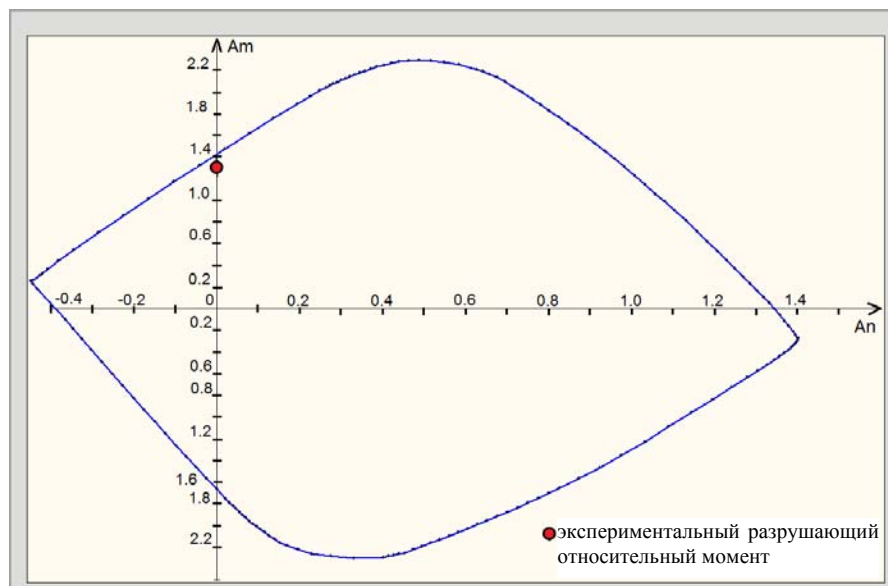


Рис. 7. Область прочности опорного сечения ригеля при действии изгибающего момента, построенная по программе *JBK-DM-SP*

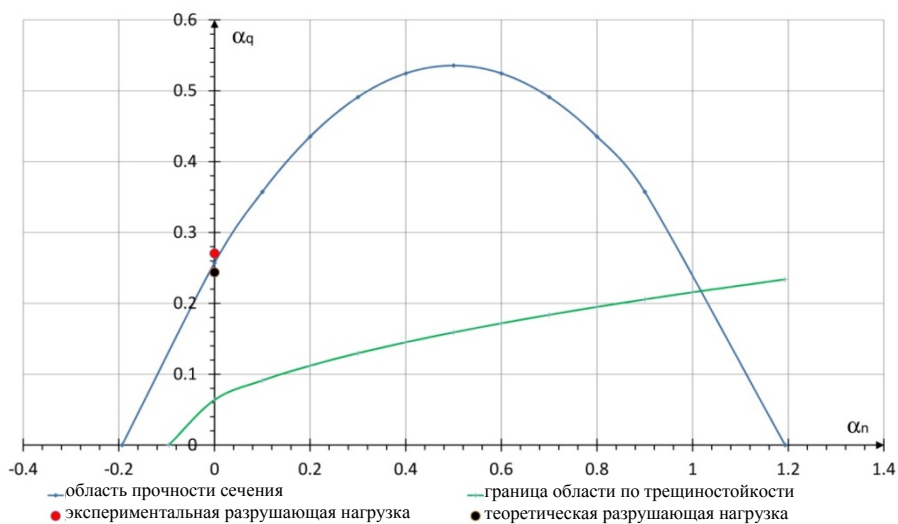


Рис. 8. Область прочности опорного сечения ригеля при действии поперечной силы, построенная по программе *JBK-NMQ*

Выполненные расчеты показали хорошую сходимость с данными, полученными при экспериментальных исследованиях. Отклонения результатов расчета от экспериментальных данных составляют 8,0...12,0 % в сторону запаса прочности. Величины податливости стыковых соединений, полученные в результате экспериментальных исследований, использованы при выполнении расчетов каркаса трехсекционного здания-представителя системы «КУПАСС» с учетом сейсмических воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программа для расчета прочности нормальных сечений элементов железобетонных конструкций на основе деформационной модели (JBK-DM-SP ver. 1.0) : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010610486 от 11.01.10 / В.С. Плевков, И.В. Балдин, С.В. Балдин.
2. Плевков, В.С. Программа для расчета прочности железобетонных конструкций при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил с использованием областей относительного сопротивления (JBK-NMQ ver. 1.0) : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010612601 от 15.04.10 / В.С. Плевков, И.В. Балдин, С.В. Балдин.
3. Плевков, В.С. Расчет железобетонных решетчатых конструкций при статическом и кратковременном динамическом нагружении с использованием поверхностей относительного сопротивления по прочности / В.С. Плевков, И.В. Балдин, С.В. Балдин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 2. – С. 67–78.

REFERENCES

1. Plevkov V.S., Baldin I.V., Baldin S.V. Programma dlia rascheta prochnosti normal'nykh sechenii' elementov zhelezobetonnykh konstruktsii' na osnove deformatsionnoi' modeli (JBK-DM-SP ver. 1.0) [Deformation model for strength computation program for normal sections of concrete elements]. Svidetel'stvo ob ofitcial'noi' registratsii programmy' dlia E`VM N 2010610486, 11.01.10. (rus)
2. Plevkov V.S., Baldin I.V., Baldin S.V. Programma dlia rascheta prochnosti zhelezobetonnykh konstruktsii' pri sovmestnom deistvii izgibaiushchikh momentov, prodol'nykh i poperechnykh sil s ispol'zovaniem oblastei' otноситel'nogo soprotivleniia (JBK-NMQ ver. 1.0) [Strength computation program for combined behavior of flexion moment, longitudinal and transverse forces with strength ratio areas]. Svidetel'stvo ob ofitcial'noi' registratsii programmy' dlia E`VM No 2010612601. 15.04.10. (rus)
3. Plevkov V.S., Baldin I.V., Baldin S.V. Raschet zhelezobetonnykh reshetchatykh konstruktsii' pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении s ispol'zovaniem poverkhnostei' otноситel'nogo soprotivleniia po prochnosti [Structural design of reinforced concrete frames under static and dynamic loads and relative strength ratio]. Vestnik TSUAB. 2011. No. 2. Pp. 67–78. (rus)