

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**по вопросам применения строительной системы «КБК»**  
**на основе конструкций безригельного каркаса при строительстве**  
**в сейсмических районах Российской Федерации**

Заключение подготовлено в рамках договора № 7/08 от 11 февраля 2008 года между ООО ПЦ «КУБ-Сибирь» (заказчик) и НО РАСС (исполнитель) на тему: «Провести статические и динамические испытания фрагмента здания из элементов на основе системы «КБК» в натуральную величину с целью ее распространения для строительства на площадках сейсмичностью 7-9 баллов по шкале MSK-64».

Работа выполнена в соответствии с техническим заданием к договору, на основании Программы экспериментальных исследований конструктивной системы «КБК» на основе универсального сборно-монолитного безригельного каркаса.

Отчет по результатам расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, является основой для выводов, приведенных в настоящем заключении и его неотъемлемой частью.

1. Строительная система «КБК» (далее – КБК) на основе конструкций безригельного каркаса предназначена для возведения сборно-монолитных жилых и общественных зданий с различными объемно-планировочными решениями.

2. КБК имеет важные положительные свойства (быстрота возведения, возможность создания выразительных архитектурных форм, гибкость объемно-планировочных решений зданий) и в связи с этим она нашла широкое применение при строительстве в несейсмических районах Российской Федерации.

3. Технические решения КБК представлены в «Альбомах технических решений конструкций безригельного каркаса (КБК). – Воронеж - Новосибирск: ФГУП «ЦПО» при Спецстрое России» - ОАО «12 Военпроект», 2007» и подтверждены сертификатом соответствия № РОСС RU.СР48.С00047 от 05.04.2007 г.

4. КБК имеет следующие специфические особенности в сравнении с другими аналогичными системами:

- наличие совмещенного стыка колонн с перекрытиями и колонн между собой (данное техническое решение защищено патентом);

- устройство диафрагм жесткости со сдвигом на 1,5 м относительно осей между колоннами, в местах стыковки сборных панелей между собой;

- возможность использования для восприятия горизонтальных нагрузок (типа ветровых и пр.)  $\Lambda$ -образных железобетонных связей, соединенных с колоннами (внизу) и перекрытием (вверху).

В связи с тем, что сейсмостойкость систем из рассматриваемых элементов исследована недостаточно, были выполнены дополнительные, описанные ниже комплексные расчетно-теоретические и экспериментальные исследования.

**5. Статические и динамические испытания** проведены в г. Перми на заводе ЖБИ ООО «КУБ-Стройкомплекс» на двух образцах – моделях, представляющих собой 3-этажные фрагменты здания в натурную величину, расположенные на единой фундаментной плите.

Общий вид образцов - моделей приведен на рисунке в приложении А.

В основу компоновки образцов положено типовое планировочное решение блок-секции на основе КБК с размерами в плане 6 x 12 метров, запроектированное исходя из расчетной сейсмичности 8 баллов по шкале MSK-64.

Габариты в плане каждого фрагмента составили 9 x 15 метров, а расстояние между фрагментами - 1,5 метра, что позволило разместить в этом габарите на уровне перекрытий гидравлические домкраты с усилием до 200 тонн с целью проведения испытаний фрагментов в режиме знакопеременного статического нагружения.

В первом фрагменте (на рисунке слева) горизонтальные усилия воспринимались железобетонными связями, во втором фрагменте (на рисунке справа) - путем устройства железобетонных диафрагм жесткости, что обеспечило различия их жесткостей в горизонтальном направлении.

К испытаниям приступили после набора прочности бетона основных конструкций и стыков соединений.

**6. Оценка прочности и жесткости конструкций каркаса КБК и перекрытия** проводилась как в вертикальном направлении, так и в своей плоскости, в статическом и динамическом режимах нагружения.

Особое внимание при нагружении было уделено исследованию работы узлов соединений колонн между собой и с плоским безригельным перекрытием, а также сборных плит перекрытий между собой.

**6.1. Статические испытания.** Испытания осуществлялись с приложением горизонтальной нагрузки в направлении наибольшей и наименьшей жесткости и прочности каркаса. Величины нагрузок:

Вертикальные нагрузки принимались равными из расчета 500, 1000 и 1500 кг/м<sup>2</sup>, что примерно соответствует расчетным нагрузкам в одноэтажном доме, а также в первом этаже 3-этажного и 5-этажного здания, соответственно.

Горизонтальные нагрузки прикладывались ступенями, в уровне 2-го и 3-го перекрытия, включая расчетные сейсмические нагрузки, отвечающие интенсивности для 7 - 8 баллов, вплоть до разрушения элементов.

**6.2. Динамические испытания.** Нагружения осуществлялись с применением мощной вибромашины инерционного действия ВИД-12/08М (а.с. № 2155573 Айзенберг Я.М. и др.), установленной на верхнем перекрытии каждого фрагмента, попеременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для данного типа вибратора, прошедшего модернизацию в 2008 году, характерным является возможность проведения испытаний образцов без начального переходного режима.

Динамические испытания проводились перед началом каждого этапа статического нагружения, так и после его завершения. Изменение нагрузки в каждом цикле испытаний выполнялось соответствующим изменением амплитуды ускорения (вылета дебалансов вибратора) и/или частоты вынужденных колебаний.

На первом цикле высокочастотное нагружение фрагментов осуществлялось на максимальной частоте ( $\omega_{\max}$ ) с минимальной амплитудой ( $A_{\min}$ ), с длительностью нагружения не менее 120 с.

На втором цикле низкочастотное нагружение фрагментов осуществлялось на минимальной частоте ( $\omega_{\min}$ ) с максимальной амплитудой ( $A_{\max}$ ), с длительностью нагружения не менее 120 с.

На третьем цикле нагружение фрагментов в резонансном режиме ( $\omega_{\text{рез}}^2$ ) проводилось с максимально возможной для указанного режима амплитудой ( $A$ ) при длительности нагружения - не менее 240 с.

Максимальная нагрузка на испытываемый фрагмент для первых двух циклов составила от 10000 до 23000 кг (сила) при максимальном ускорении до  $0,1g$ , что соответствует 7 баллам по шкале MSK-64.

#### **7. Выполнен расчетно-теоретический анализ отдельных элементов, а также фрагментов в целом.**

Определены расчетные сейсмические нагрузки и перемещения, которые сравнивались с экспериментальными данными.

#### **8. Основные результаты экспериментальных исследований и расчетно-теоретического анализа.**

8.1. В результате эксперимента выявлены следующие особенности системы КБК.

8.1.1. Отдельные конструктивные элементы исследуемой системы – колонны и связевые диафрагмы обеспечили восприятие расчетных сейсмических нагрузок, отвечающих расчетной сейсмической нагрузке 7 - 8 баллов по шкале MSK-64, при одновременном приложении вертикальной нагрузки от собственного веса конструкции.

8.1.2. Первоочередные повреждения происходили при нагрузках, в 1,5 – 2,0 раза ниже расчетных, по  $\Lambda$ -образным железобетонным связям, поперек тела элементов и в местах их соединения с перекрытиями, а после «выключения» связей - прогрессировали и распространялись на перекрытия.

Трещины в колоннах в результате действия изгибающих моментов и перерезывающих сил появились позже, когда были достигнуты значительные горизонтальные перемещения за пределами упругого деформирования при относительных смещениях  $\Delta_i/h_i = 1/275$ .

По характеру повреждений в этот момент фрагмент был доведен до «предельного состояния» первого уровня.

8.1.3. На фрагменте со связевыми диафрагмами разрушения происходили при относительно больших уровнях нагружения, по растянутой зоне этих диафрагм.

Характер повреждений, в случае расположения диафрагм в створе колонн (первый этаж) был более «благоприятным», чем в местах, где диафрагмы располагались со сдвижкой относительно оси колонн, в монолитных стыках между плитами перекрытий (второй и третий этажи). В последнем случае, колонны получили более значительные повреждения.

8.1.4. Разрушение стыков соединений колонн с перекрытиями и перекрытий между собой происходило в последнюю очередь, причем разрушения распространялись, как правило, по телу плиты. Такой характер их образования указывает на благоприятное поведение этих стыковых соединений при нагрузках, моделирующих сейсмические.

8.2. Основой для оценки принципиальной работы конструкции служит сопоставление количественных показателей деформирования (нагрузки, перемещения, изменение периодов колебаний, характеризующих жесткость системы) в зависимости от качественных показателей (уровень (степень) и характер развития повреждений), для чего в *Отчете* построены так называемые «траектории состояния».

### ВЫВОДЫ.

1. На трехэтажных натуральных фрагментах проведены комплексные статические и динамические испытания конструкций безригельного каркаса КБК, с практическим использованием аналогового и математического моделирования, которые позволили эффективно решить большое число довольно сложных задач.

2. В результате проведенных исследований экспериментальным путем, при минимальных затратах материала, трудоемкости и стоимости:

2.1. Была выявлена действительная картина работы конструкций КБК и распределение усилий в характерных сечениях и узловых соединениях элементов;

2.2. В дополнение к аналитическому расчету, произведен анализ напряженного состояния (характера разрушений) фрагментов каркаса КБК, имеющих существенные отличия в конструктивных решениях связей и диафрагм жесткости, воспринимающих горизонтальные нагрузки;

2.3. Проверена правильность гипотез, положенных в основу численного анализа и обоснования надежности конструкции при воздействии сейсмических нагрузок;

2.4. Уточнена расчетная схема зданий на основе КБК;

2.5. Определены характер разрушения, действующие нагрузки и соответствующие им параметры деформирования;

2.6. Оценен реально возможный запас прочности системы КБК и направления совершенствования базовых конструктивных решений с целью повышения их надежности для дальнейшего распространения при строительстве в сейсмических районах.

3. В ходе испытаний:

- подтверждена надежность узлов соединений колонн между собой и с плоским безригельным перекрытием, а также соединений перекрытий между собой;

- получено, что сейсмостойкость фрагмента с диафрагмами жесткости, при равных нагрузках, является в данной системе более обеспеченной в сравнении с фрагментом, имеющим железобетонные связи жесткости и без них. При этом, наиболее «благоприятным», с точки зрения восприятия горизонтальных нагрузок, следует признать традиционное техническое решение по устройству диафрагм, когда они устанавливаются между колоннами вдоль осей здания, по сравнению с вариантом, заложенным в КБК (сдвигка относительно осей и расположение в стыках между панелями перекрытий);

- выявлены параметры «уязвимости» системы КБК и ее способность к рассеянию энергии в процессе деформирования.

Логарифмический декремент колебаний фрагментов определен в пределах  $0,13 \leq \delta \leq 0,23$  (нижнее значение принято – для рамного каркаса, а верхнее – для каркаса с диафрагмами) и после всех видов испытаний изменился незначительно (не более 10%).

Полученные данные могут быть использованы для практических целей. Конструктивная доработка системы КБК может осуществляться в процессе реального проектирования и строительства.

### **Заключение.**

1. Строительная система КБК на основе конструкций безригельного каркаса рекомендуется к применению при строительстве зданий на площадках сейсмичностью

7 - 9 баллов по шкале MSK - 64 при ограничениях, установленных требованиями таблицы 8\* СНиП II -7-81\* «Строительство в сейсмических районах» для каркасных зданий и п.п. 2 - 5 настоящих выводов.

2. При проектировании зданий и сооружений на основе КБК в сейсмических районах следует соблюдать следующие основные правила.

2.1. Наиболее предпочтительной, в сравнении с базовыми проектными решениями является рамно-связевая конструктивная схема с диафрагмами жесткости, расположенными в створе колонн.

2.2. Повышение сейсмостойкости достигается рациональными объемно-планировочными решениями, оптимальным распределением диафрагм в пределах плана и по высоте здания, а также комплексом мероприятий конструктивного характера, обеспечивающих совместность работы каркаса с другими несущими элементами.

2.3. Параметры конструирования несущих элементов (колонн, стен и перекрытий) каркаса КБК устанавливаются на основании расчетного анализа с применением сертифицированных программных комплексов, прошедших в установленном порядке оценку и подтверждение на соответствие.

2.4. Формирование расчетной модели КБК следует осуществлять с учетом реальной работы конструкции при динамических воздействиях, включая нелинейность деформирования, податливость перекрытий из плоскости, необходимость ограничения горизонтальных перемещений (перекосов) этажей и здания в целом, а также другие особенности, выявленные в ходе эксперимента.

2.5. Разработку конструкторской документации на основе КБК следует доверять аттестованным и сертифицированным специалистам, профессиональная подготовка (переподготовка) и оценка соответствия которых осуществляется в рамках действующих систем саморегулирования, при обязательном участии специалистов организации - правообладателей системы КБК, ЦНИИП Градостроительства РААСН и Российской ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС).

3. В условиях, отличных от указанных в п. 2, проектирование и строительство зданий и сооружений на основе КБК осуществляется при научно-техническом сопровождении, с участием специализированной организации в области сейсмостойкого строительства.

4. В случае, если для разработки проектной документации на конкретное здание или сооружение в действующих нормах недостаточно требований по надежности и безопасности, их проектирование осуществляется на основании специальных технических условий (СТУ), согласованных в порядке, установленном Постановлением Правительства РФ от 16 февраля 2008 года и приказом Минрегиона России от 1 апреля 2008 года № 36.

Повышение надежности КБК достигается компенсирующими мероприятиями, в том числе, с применением сейсмоизоляции и других систем регулирования динамической реакции сооружения.

5. С целью повышения качества проектирования и строительства, организации - правообладателю системы КБК рекомендуется сформировать совместно с заинтересованными лицами *систему коллективной ответственности*. Такая система реализуется на единой научно-методологической основе, в соответствии с действующими правилами технического регулирования и саморегулирования:

- путем установления дополнительных, в сравнении с монолитными системами, требований (стандартов) по проектированию объектов на основе сборно-монолитного каркаса, особенно для районов повышенной опасности (8 баллов и более по шкале MSK-64);

- общими правилами подготовки, аттестации и сертификации специалистов – проектировщиков, заявивших о своих намерениях для работы с конструкциями безригельного каркаса в сейсмических районах, на основе внедрения практики гарантирования качества производства работ (услуг), в том числе, путем страхования профессиональной ответственности исполнителей;

- информационной открытостью и доступностью данных о системе КБК, включая развернутые сведения о проектируемых и возводимых объектах на сейсмоопасных территориях.

6. Обновленные, с учетом требований, установленных для сейсмических районов, конструктивные решения КБК после применения на первых объектах целесообразно выделить в отдельный альбом, с присвоением ему индекса «С» (сейсмостойкость).

При выполнении указанных условий строительная система КБК характеризуется как пригодная для использования при строительстве в сейсмических районах Российской Федерации

Приложения:

1. Программа комплексных экспериментальных исследований конструктивной системы «КБК» на основе безригельного каркаса. – М.: НО РАСС, 2008.

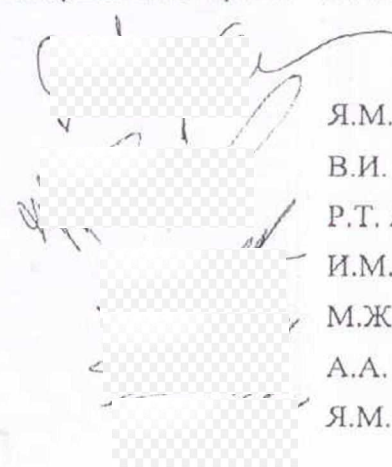
2. Отчет по результатам научно-исследовательской работы «Экспериментальные исследования конструктивной системы «КБК» на основе конструкций безригельного каркаса. – М.: НО РАСС, 2008.

Президент Ассоциации  
д.т.н., профессор

Вице-президент, к.т.н.

Ответственный исполнитель, к.т.н.

Исполнители:



Я.М. Айзенберг  
В.И. Смирнов  
Р.Т. Акбиев  
И.М. Могушков  
М.Ж. Чубаков  
А.А. Гасиев  
Я.М. Эльмурзаев

5.11.2008 г.

## ИЗМЕНЕНИЯ

к пунктам свода правил СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах», утвержден Приказом Минстроя России от 18.02.2014 г. № 60/пр

6.8.11 Максимальные расстояния между осями колонн в каждом направлении при безбалочных плитах и безбалочных плитах с капителями следует принимать 7,2 м - при сейсмичности 7 баллов, 6,0 м - при сейсмичности 8, 9 баллов. Толщину **монолитных** перекрытий (с капителями и без них) безригельного каркаса следует принимать не менее  $1/30$  расстояния между осями колонн и не менее 180 мм, для **сборно-монолитного бетона** – по расчету, но не менее 160 мм, класс бетона - не ниже В20.

По наружному контуру вертикальных несущих конструкций зданий перекрытия следует опирать на ригели в уровне каждого этажа. Допускается устройство на консольных свесах перекрытий и ограждающих конструкций, выступающих за пределы основного каркаса частично или по периметру здания. Конструкции узлов сопряжения стен и перекрытий должны удовлетворять требованиям 6.8.15.

6.8.12 При расчете прочности нормального сечения плиты безригельных бескапительных каркасов на действие изгибающего момента расчетную ширину сжатой зоны бетона следует принимать не более трехкратной ширины колонн. На этой расчетной ширине в каждом осевом направлении должно быть размещено не менее 50% площади всей продольной рабочей арматуры плиты, приходящейся на шаг колонн в направлении, перпендикулярном направлению арматуры. **В монолитном варианте исполнения** 10% площади всей рабочей арматуры, размещенной на указанной расчетной ширине плиты, необходимо пропустить сквозь тело колонны.

Рекомендуется не менее 30% всей продольной арматуры плиты устанавливать в виде групп каркасов, плоских вертикальных или пространственных прямоугольного, или треугольного сечения. Такие каркасы в обоих осевых направлениях следует сосредотачивать в составе полос усиленного армирования над **монолитными** колоннами, где не менее двух плоских каркасов или двух верхних стержней пространственного каркаса должны быть пропущены сквозь тело колонны, а также в составе арматуры, проходящей через срединные участки пролетов. Непрерывность этих каркасов в пределах общих габаритов перекрытия должна быть обеспечена стыковыми сварными соединениями продольных стержней каркасов. Эти стыковые соединения должны располагаться в зонах минимальных изгибающих моментов по соответствующим осевым направлениям и иметь прочность не ниже нормативного сопротивления стыкуемых стержней.

Проектируемые мероприятия по обеспечению безопасности сборно-монолитного безригельного каркаса должны быть обоснованы результатами исследований, расчетами и (или) испытаниями, выполненными по сертифицированным или апробированным иным способом методикам.