

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСКАПИТЕЛЬНО-БЕЗБАЛОЧНОЙ КАРКАСНОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ

В статье приведены примеры возведения зданий на основе бескапительно-безбалочной индустриальной каркасной конструктивной системы в г. Полтава. Произведен сравнительный анализ данной системы с другими конструктивными системами зданий. Предложены способы усовершенствования конструктивных элементов рассматриваемой системы и узлов их соединения.

На данном этапе развития жилищного строительства в Украине наиболее актуальными являются проблемы обеспечения населения доступным жильем и повышения энергоэффективности зданий. Ведь в зданиях, преимущественно возведенных на основе стеновых конструктивных систем, стоимость  $1 \text{ м}^2$  жилья значительно превышает покупательную способность средних по материальному достатку слоев населения [1 – 3]. Причин существования названных проблем достаточно много. Среди основных можно отметить все еще высокую трудоемкость строительных работ, низкий уровень механизации технологических процессов строительного производства, часто недостаточную этажность зданий, значительную материалоемкость и несовершенство устройства внешних стен, выполняющих одновременно функции ограждающих и несущих конструкций.

Решение названных проблем возможно за счет усовершенствования технологии строительства жилых зданий на основе применения новых конструктивных систем, среди которых наиболее привлекательным является индустриальный бескапительно-безбалочный каркас с минимальным количеством типоразмеров сборных конструкций (рис. 1). По своей сути каркас представляет плоские железобетонные перекрытия, непосредственно соединенные с колоннами за счет прогрессивных решений их стыков без использования капителей. Использование такого каркаса позволяет расширить возможности планировочных решений помещений, а также дает свободу в выборе материала ограждающих конструкций. Поскольку отдельные элементы пространственного каркаса имеют максимальную заводскую готовность и их сочетание между собой предусматривает минимальный объем работ по замоноличиванию монтажных промежутков, то применение данной конструктивной системы – также один из путей реанимации заводов по производству индустриальных железобетонных конструкций.

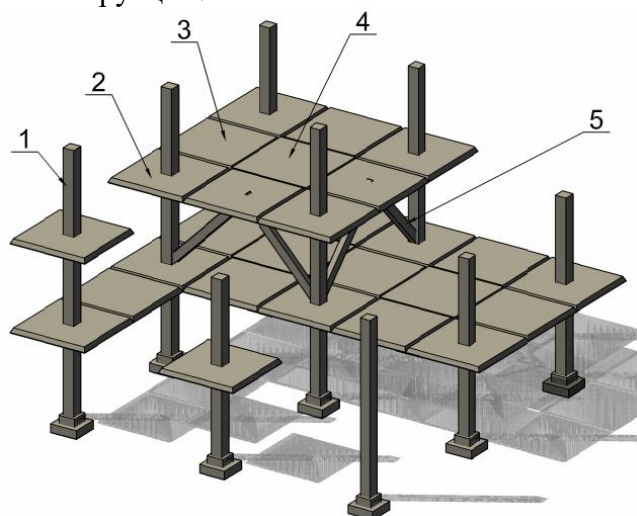


Рисунок 1 – Схема бескапительно-безбалочного каркаса жилого здания:

- 1 – колонна; 2 – надколонная плита; 3 – межколонная плита;  
4 – средняя плита; 5 – элемент жесткости

Как показывает анализ работ по вопросу решения проблемы обеспечения населения доступным жильем, эффективнее всего его можно решить за счет внедрения инновационных строительных конструкций, среди которых особенного внимания заслуживает направление дальнейшего совершенствования предложений, рассмотренных в работах [4 – 8]. Пути достижения поставленных задач в отношении индустриального бескапитально-безбалочного каркаса зданий рассматриваются в публикациях сотрудников кафедры железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов ПолтНТУ [9 – 13], которая одной из первых в Украине в сотрудничестве с проектным институтом градостроения «Горстройпроект» способствовала внедрению данной конструктивной системы в жилищное строительство г. Полтава.

В 2008 году на основе разработок ПолНТУ и института градостроения «Горстройпроект» впервые в г. Полтава были возведены здания под социальное жилье (рис. 2), а также здания другого назначения.

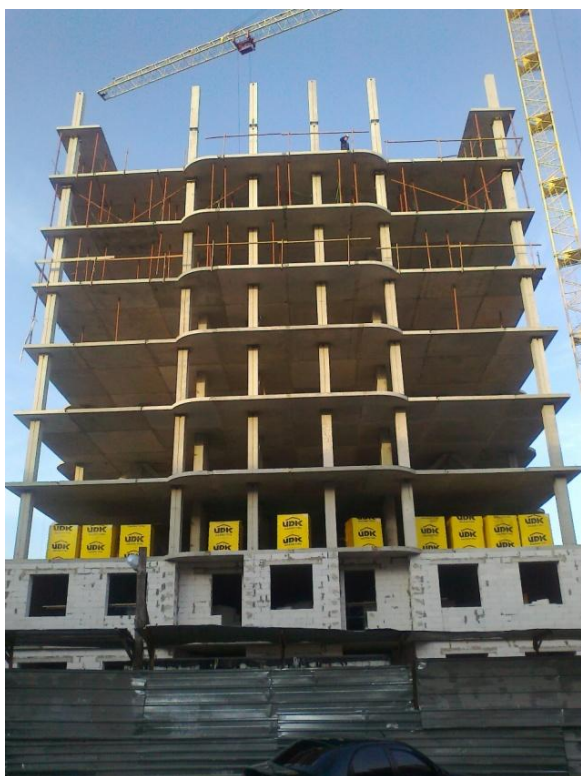


Рисунок 2 – Общий вид жилых 16-ти этажных зданий бескапитально-безбалочной каркасной конструктивной системы в г. Полтава в процессе возведения и перед вводом в эксплуатацию

Бескапитально-безбалочный каркас, примененный в построенных зданиях, характеризуется присущими ему преимуществами в архитектурно-планировочных и конструктивных решениях в сравнении со зданиями, которые строятся на основе стеновых конструктивных систем – традиционными крупноблочными, панельными, из кирпича. Абсолютно плоские перекрытия позволяют отказаться от устройства дорогостоящих подшивных потолков, необходимых по гигиеническим, эстетическим или другим техническим соображениям. Уменьшенный строительный габарит перекрытия позволяет на 5 – 8 % уменьшить кубатуру здания.

Применение вдоль периметра перекрытия консольной его части, делает возможным решение вопросов устройства температурно-усадочных швов, примыканий к соседним зданиям, балконов, лоджий и солнцезащитных элементов. Консольная часть перекрытия вдоль его периметра кроме удобств при решении технических задач, позволяет также придавать каждому зданию неповторимую архитектурную форму.

Сравнительный анализ бескапитально-безбалочной конструктивной системы (ББКС) с другими наиболее используемыми в жилищном строительстве системами (табл. 1) свидетельствует о целесообразности ее использования в практике строительства.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели каркасных конструктивных систем зданий

Показатель	Конструктивные системы						
	ББКС	«АРКОС» [14]	«Сарет» [14]	«КАЗАНЬ – XXI» [15]	Монолит [16]	Ж/Д КПД [16]	«СОЧИ» [17]
Расход стали на м <sup>2</sup> перекрытия	18,0 кг/м <sup>2</sup>	11,6 кг/м <sup>2</sup>	17,0 кг/м <sup>2</sup>	14,8 кг/м <sup>2</sup>	20,2 кг/м <sup>2</sup>	14,6 кг/м <sup>2</sup>	27,0 кг/м <sup>2</sup>
Расход бетона на м <sup>2</sup> перекрытия	0,16 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,17 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,20 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,20 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,28 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,142 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,20 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>
Толщина перекрытия	160 мм	200 мм	174 мм	142 мм	160 мм	142 мм	200 мм
Сетка колонн	6х6 м	8,4х8,4 м	6х6 м	9х9 м	–	6х6 м	6,3х6,3 м
Арх.- план. решение	свободное	свободное	свободное	свободное	свободное	свободное	свободное
Срок монтажа 12-ти этажей	3 мес.	3 мес.	12 мес.	6 мес.	12 мес.	12 мес.	6 мес.

Конструкция бескапитально-безбалочного каркаса разработана для возведения зданий высотой 16 этажей в районах с сейсмической активностью до 9 баллов. Каркас быстро монтируется и обладает значительной простотой при изготовлении отдельных элементов. Составляющие элементы каркаса имеют простую геометрическую форму и ограниченное количество типоразмеров, что существенно облегчает его освоение.

Междуэтажные перекрытия (рис. 1) состоят из трех типов сборных железобетонных плит: надколонных (2), межколонных (3) и средних (4). Номинальные размеры всех этих плит, с целью унификации опалубки, одинаковые – 3000×3000 мм.

Пространственная жесткость и стойкость такого каркаса здания обеспечивается главным образом за счет жесткого (рамного) соединения дисков перекрытия с колоннами в уровне каждого этажа, а также соединения перекрытия и колонн между собой связями (железобетонными подкосами; железобетонными диафрагмами жесткости). Вертикальными несущими элементами каркаса являются сборные железобетонные колонны и частично железобетонные диафрагмы жесткости.

Надколонные плиты (3) крепятся (рис. 3) с помощью приваривания соединительных уголков (6) к заложеным в плитах обечайкам и к арматуре колонны (7), а монтажные промежутки между колонной и обечайкой заполняются высокопрочным мелкозернистым бетоном. При этом в промежутках между гранями колонн и обечаек образуются бетонные шпонки.

Межколонные и средние плиты монтируются в проектное положение «насухо» с помощью железобетонных монтажных устройств и инвентарных стоек. Промежутки между торцами плит с арматурными выпусками в виде петлевых соединений (10), равно как и в соединениях надколонных плит с колоннами, замоноличиваются высокопрочным мелкозернистым бетоном для образования шпонок (рис. 3).

Для устройства элементов жесткости (Л-связей) (5) на соседних колонах монтируются специальные опорные столики (12), а в межколонной плите устраивается отверстие (рис. 3).

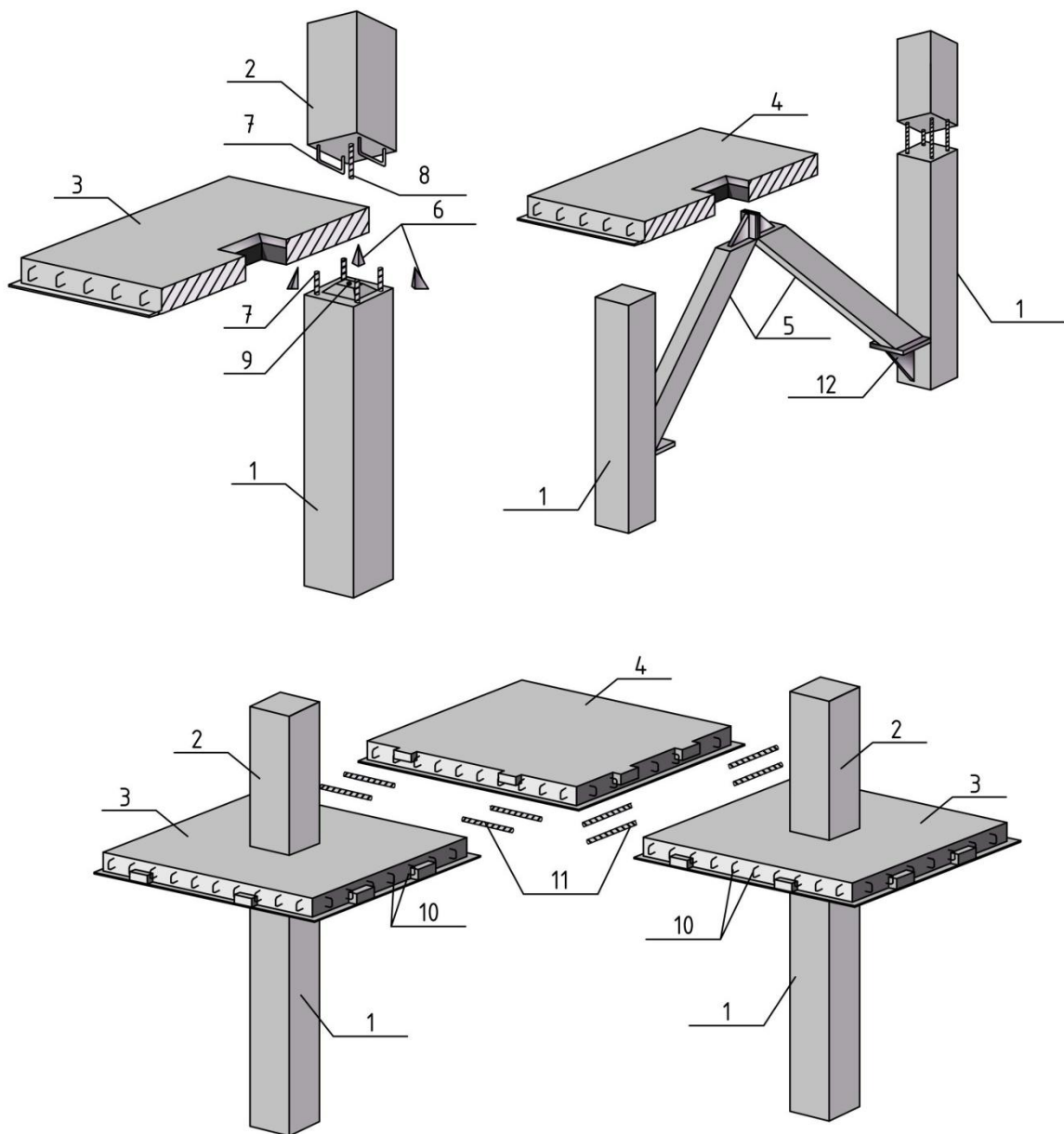


Рисунок 3 – Основные стыки элементов бескапитально-безбалочной конструктивной системы: 1 – колонна нижнего яруса; 2 – колонна верхнего яруса; 3 – надколонная плита; 4 – межколонная плита; 5 – Л-связь; 6 – соединительные уголки; 7 – рабочая арматура колонны; 8 – монтажный стержень; 9 – монтажный патрубок; 10 – петлевые выпуски арматуры; 11 – арматура соединения плит; 12 – опорный столик для монтажа Л-связи

С целью усовершенствования каркаса было предложено [11] вместо сжато-растянутых связей-раскосов использовать вертикальные плоские элементы, которые выполняют функции диафрагм жесткости и разгружают колонны, воспринимая часть вертикальных нагрузок, а также повышают эксплуатационные качества здания за счет обеспечения совместной работы каркаса с фундаментом и основанием.

Номенклатура изделий индустриального железобетонного каркаса многоэтажного жилого здания дополнена элементами лестницы, которые состоят из Z-подобных маршей и опорных балок.

Внешние стены устраиваются непосредственно на перекрытиях автономно в пределах каждого этажа. Для их выполнения предусмотрено использовать легкие теплоэффективные материалы.

Конструирование каркаса выполнено по данным статического расчета пространственного каркаса как рамно-связевой системы здания. Внутренние усилия в элементах каркаса подсчитывались с помощью программного комплекса «SCAD», который базируется на использовании метода пространственных конечных элементов. Задача решалась для случая как линейной, так и нелинейной работы материалов несущих конструкций пространственного каркаса и грунтовой основы.

Как показали исследования, рамную конструкцию каркаса можно рассчитывать также простыми инженерными методами. При этом пространственный каркас на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок можно расчленять в двух взаимно перпендикулярных направлениях на плоские рамы. В таких расчетах плоские рамы состоят из стоек, которыми служат колонны, и ригелей, в качестве которых служат плиты шириной, равной шагу колонн перпендикулярного направления. Вертикальные нагрузки передаются на колонны и условные ригели, горизонтальные нагрузки воспринимаются только элементами жесткости – диафрагмами.

По полученным усилиям подбиралось необходимое количество арматуры в колоннах и плитах. При этом толщина сборных плит была принята 160 мм и по периметру предусмотрены выступы для монтажа межколонных и средних плит, колонны всех этажей по размерам поперечного сечения принимались 400×400 мм и по длине были двухъярусными.

Для колонн применена арматура класса А500С. В плитах кроме стержневой арматуры класса А500С использовалась проволока класса Вр-I. В плитах армирование осуществлялось в виде сеток таким образом: в надколонной плите в растянутой зоне количество стержней в каждом направлении составляло 16Ø14 (по всей плоскости) + 12Ø14 (в средней части), сжатая зона армировалась проволокой класса Вр-I в количестве 20Ø4 (рис. 4); в межколонной плите в растянутой зоне количество стержней составляло 13Ø10 (по всей плоскости) + 8Ø10 (в средней части), сжатая зона армировалась проволокой Вр-I в количестве 11Ø4; средняя плита в растянутой зоне армирована 12Ø8 (по всей плоскости) + 7Ø8 (в средней части), сжатая зона запроектирована без арматуры.



Рисунок 4 – Расположение арматуры надколонной плиты в опалубке и общий вид надколонной плиты после бетонирования

На запроектированные к использованию в каркасе здания элементы разработаны технические условия. Испытание их качественных характеристик осуществлено в лабораторных условиях кафедры железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов ПолтНТУ. При этом для каждого из элементов, то есть колонн, плит и лестничных маршей были разработаны отдельные расчетные схемы и изготовлено специальное испытательное оборудование. Например, надколонная плита испытывалась по расчетной схеме, в которой она являет собой составную часть ригеля плоской рамы в пределах по 1500 мм в каждую сторону от колонны (рис. 5). Загружение осуществлялась гидравлическими домкратами (6) мощностью 50 т каждый с помощью насосной станции.

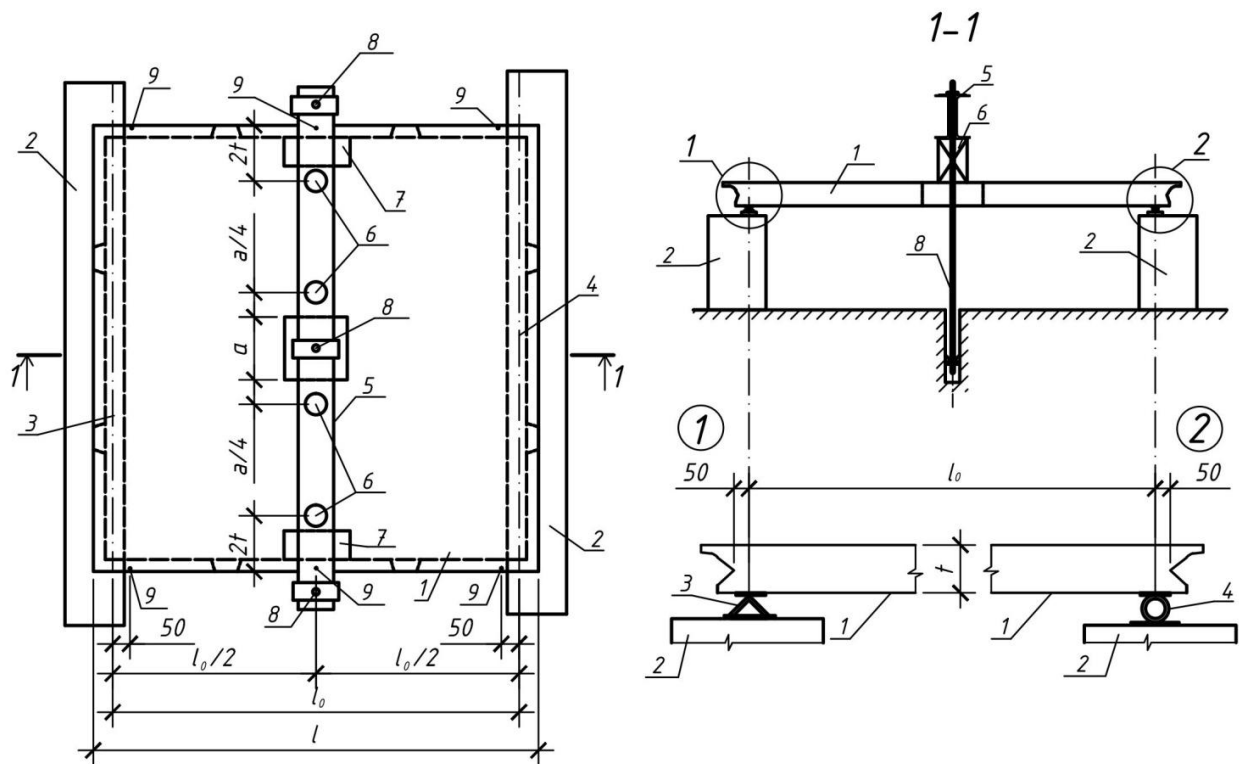


Рисунок 5 – Схема испытания надколонных плит:

- 1 – надколонная плита; 2 – опорные элементы; 3 – шарнирно-неподвижная опора;  
 4 – шарнирно-подвижная опора; 5 – траверса; 6 – гидравлические домкраты;  
 7 – временные опоры для траверсы; 8 – тяжи;  
 9 – точки измерения перемещений

По результатам исследований конструкций бескапитально-безбалочного каркаса определена номенклатура контролируемых показателей качества железобетонных изделий, разработаны и реализованные технические условия на изделия, проведены приемные и квалификационные испытания сборных конструкций. Выполненные разработки реализованы при строительстве 16-ти этажных зданий доступного жилья.

Опыт возведения зданий в г. Полтава показал, что применение бескапитально-безбалочной индустриальной конструктивной системы позволяет повысить этажность жилых зданий и тем самым увеличить площадь жилья с ощутимой экономией площади участка строительства в условиях ограниченной городской застройки.

Использование каркаса, как основной несущей конструкции здания, дает широкие возможности для выбора материалов внешних стен, а также позволяет расширить возможности индивидуальных архитектурных решений фасада здания.

Внедрение бескапитально-безбалочного каркаса также способствует быстрой организации строительства при небольших капиталовложениях, дает возможность осуществлять возведение жилых зданий независимо от времени года и погодных условий.

За счет уменьшения материалоемкости конструкций, а также использования современных утеплителей и увеличения уровня заводской готовности конструкций значительно снижается стоимость и сокращаются сроки строительства объектов, что влечет за собой удешевление  $1 \text{ м}^2$  жилья и повышение доступности его приобретения для населения.

1. Цветов Александр. Будівництво: традиційне чи інноваційне / Александр Цветов // Вечірня Полтава. – 2008. – №27. – С. 6.
2. Москаленко Марія. Будинки, побудовані за системою КУБ-2.5, здатні забезпечити споживачів доступним і, головне, якісним житлом / Марія Москаленко // Вечірня Полтава. – 2010. – №49 (929). – С. 2.
3. Ключко Оксана. Переживаючи економічну кризу, «Полтавабудінвест» розробляє нові технології, що здешевлюють будівництво на третину, і зводять сейсмостійкі багатоповерхівки / Оксана Ключко // Вечірня Полтава. – 2009. – №7 (834). – С. 5.
4. Blekey F. A. Towards an Australian structural form – the flat plate / F. A. Blekey // Architecture in Australia. – 1965. – Pp. 115 – 127.
5. Stasio J. Di. Flat plate rigid frame design of low coshosing project in Newark and Atlantik Citi / F. A. Blekey // N. J. Proc. American Concrete Institute. – 1941. – Vol. 37. – Pp. 309 – 324.
6. Коуэн Г. Дж. Строительная наука XIX–XX вв. : Проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / Генри Дж. Коуэн; пер. с англ. В. .А. Коссаковского; под ред. Л.Ш. Килимника. – М. : Стройиздат, 1982. – 359 с., ил. – Перевод. изд.: Science and Building.: Structural and environmental design in the nineteenth and twentieth centuries. – A Wiley-Interscience Publikation John Wiley & Sons, New York London Sydney Toronto.
7. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий : рабочий проект : в 9-ти выпусках. / Фирма «КУБ» СП «ИНЭКС», Научно-проектно-строительное объединение монолитного домостроения. – М. : НСПО «МОНОЛИТ», 1990 – . – (Серия КУБ-2,5).
8. Тимофей Пецольд. Жилые дома нового поколения [Электронный ресурс]: – Режим доступа : <http://ais.by/users/pecold>.
9. Пат. 75554 Україна, МПК E04B 5/43. Спосіб улаштування стику колон та надколонних плит уніфікованої системи збірно-монолітного безригельного каркаса / А.М. Павліков, А.В. Гасенко, С.С. Жарий // Заявка. – №u201204830; заявл. 17.04.2012; опубл. 10.12.2012.
10. Пат. 91267 Україна, МПК E04B 1/04. Спосіб з'єднання залізобетонних панелей діафрагм жорсткості в будівлях безкапітельно-безбалкової конструктивної системи / А.М. Павліков, Т.Ю. Качан, Д.Ф. Федоров // Заявка. – № u201401180; заявл. 07.02.2014; опубл. 25.06.2014.
11. Пат. 93195 Україна, МПК E04B 1/18. Індустріальний безкапітельно-безбалковий каркас будівлі доступного житла / А.М. Павліков, О.В. Гарькава, Д.Ф. Федоров, Г.Г. Фаренюк, Б.М. Петтер, Ж.М. Бовкун // Заявка. – № u201402958; заявл. 24.03.2014; опубл. 25.09.2014.
12. Микитенко С.М. Аналіз основних розрахункових положень збірно-монолітного безбалкового безкапітельного каркаса / С.М. Микитенко // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(39). – Т.1 – С. 171 – 178.
13. Довженко О.О. Збірно-монолітна конструктивна система «КУБ-2,5» під соціальне житло в Україні: з'єднання колони з перекриттям / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, А.Г. Гриценко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2013. – Вип. 27. – С. 301 – 310.
14. Универсальная открытая архитектурно-строительная система многоэтажных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rospan.com>.
15. Сравнение системы «КАЗАНЬ XXI ВЕК» с другими системами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://beton-karkas.ru>.
16. Сборно-монолитный каркас [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cardo-ufa.ru>.
17. Описание системы «СОЧИ» : электронные ресурсы. – Режим доступа : <http://stroyprofile.com>.

Андрей Николаевич Павликов, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка

Юрий Леонидович Винников, профессор кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка

Ольга Викторовна Гарькавая, старший преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка