УДК 624.016.7:721.011.27 DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.31-35

Конструкции десятиэтажных жилых зданий со стальным каркасом

Сергей Хасанбиевич ШОГЕНОВ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: shogenov_sh@mail.ru

ФБГОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», 360004 Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Аннотация. *В настоящее время гражданские здания в нашей стране часто возводят с использованием монолитного безригельного каркаса. Недостатки этой системы являются следствием отказа от основных принципов отечественной школы проектирования, реализованной в 1970-х гг. в методе Единого каталога унифицированных деталей. Основа этого метода — использование сборных железобетонных конструкций для экономии стали, снижения трудоемкости, сроков возведения и стоимости строительства. Сущность системы каталога состоит в наборе унифицированных изделий и деталей, из которых монтируются здания различного назначения с индивидуальными объемно-планировочными решениями, архитектурой, этажностью и т. д. Под метод Единого каталога в стране была создана мощная научная, кадровая и производственная база, что позволило перейти к индустриальному способу строительства. При этом данная система вытеснила другие конструктивные решения, прежде всего стальные конструкции каркасов. Последние имеют известные достоинства и в наибольшей степени отвечают основным принципам проектирования конструкций. Поэтому сейчас наблюдается возрастающий интерес к использованию стальных каркасов. В работе приводятся данные о применении таких конструкций в качестве несущей системы при строительстве 10-этажных жилых домов в г. Майкопе. Рассматриваются планировочные и конструктивные решения зданий, особенности их реализации при использовании связевого каркаса со сборными железобетонными панелями перекрытий и стен. Проанализированы напряженно-деформированное состояние конструкций и показатели расхода стали, в том числе по элементам конструкций. Отмечено, что требования норм по прочности и жесткости удовлетворяются с запасом, при этом система имеет резервы для ее совершенствования.*

Ключевые слова: *многоэтажные здания, стальной каркас, колонны, балки, связи, железобетонные панели, перекрытия.*

CONSTRUCTIONS OF 10-STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS WITH STEEL FRAME

Sergey H. SHOGENOV, e-mail: shogenov_sh@mail.ru

Kabardino-Balkarian State Univercity named after H. M. Berbekov, Chernyshevskogo ul., 173, Nalchik 360004, Russian Federation

Abstract. *Nowadays residential and civil buildings in our country are often erected by using the monolithic frame without collar beams. The disadvantages of this system are the result of the rejection of the basic principles of the national school of design, implemented in the 1970s in the method of a Single catalog of unified parts. This method is based on using prefabricated reinforced concrete constructions for savings of steel, reducing the labor input, erection time and cost of construction. The essence of the catalog system is a set of unified products and parts, from which buildings of different purposes are mounted with individual space-planning solutions, architecture, number of storeys, etc. A powerful scientific, personnel and production base, which made it possible to move to the industrial method of construction, was created under the method of a Single catalog in our country. Herewith, this system has replaced other structural solutions, first of all, the steel structures of frames. The latter have well-known advantages and are most consistent with the basic principles of design. Therefore, recently there has been an increasing interest in the use of steel frames. The evidence of using such constructions as a bearing system when constructing 10-storey residential buildings in Maykop is given in this article. Planning and constructive decisions of buildings, features of their realization, when using a braced framework with precast reinforced concrete panels of floor slabs and walls, are considered. The analysis of the stress-strain state of structures and indicators of steel consumption, including structural elements is carried out. It is also noted that the requirements of standards for strength and stiffness are met with a margin and the system has reserves for its improvement.*

Key words: *multi-storey buildings, steel frame, columns, beams, bracings, reinforced concrete panels, floors.*

© ШОГЕНОВ С. Х., 2019

В последние годы гражданские здания различного назначения (жилые дома, офисы, торговые центры и т. д.) сооружают с использованием монолитного безригельного каркаса. Достоинства и недостатки таких конструкций давно известны, и опыт строительства последних 20—25 лет лишь подтвердил их. Высокий расход основных материалов, значительная трудоемкость и продолжительные сроки возведения объектов стали следствием отказа от основных принципов отечественной школы проектирования и переноса всех технологических процессов на строительную площадку. При этом стали неизбежны потери не только в качестве сооружаемых объ-

ектов, но и по многим другим важным показателям.

Разработанный в 1970-е гг. в нашей стране метод Единого каталога унифицированных деталей позволял возводить разные здания и сооружения при оптимальных технико-экономических показателях даже с позиций сегодняшнего дня [1]. В основу каталога были заложены единая система модульных размеров и правил привязки сборных изделий к осям, экономичные и надежные виды конструкций и номенклатура для них, унифицированные узлы сопряжения элементов для их взаимозаменяемости.

В качестве основных были приняты две конструктивные системы — панельная с поперечными несущими элементами для зданий мелкоячеистой планировочной структуры и каркасно-панельная со свободной планировкой в общественных и производственных зданиях [2]. С точки зрения статической работы конструкций использовалась связевая система, в которой горизонтальные воздействия воспринимаются вертикальными связевыми элементами (диафрагмами) [3]. Неизменяемость системы, пространственная жесткость и устойчивость сооружения обеспечиваются совместной работой горизонтальных жестких дисков перекрытий и вертикальных диафрагм, что позволяет разгрузить и упростить остальные элементы каркаса.

Для производства сборных железобетонных конструкций Единого каталога была создана мощная производственная база в виде заводов ЖБИ, ДСК с новыми технологическими линиями и возможностями. Серьезных изменений коснулась также система подготовки кадров (рабочих, инженерных, научных), что в итоге позволило заложить основу для индустриального способа возведения зданий и сооружений.

С другой стороны, широкое

Рис. 1. ***10-этажные жилые дома***

внедрение в практику строительства сборных железобетонных конструкций привело к сокращению других видов строительства, особенно с использованием стальных конструкций. И если в области промышленного строительства, строительства уникальных, специальных и некоторых других типов зданий и сооружений позиции металлических каркасов остались нетронутыми, то в сфере жилищного и других видов гражданского строительства стальные конструкции были вытеснены практически полностью. Такой перекос в технической политике привел к сокращению не только производства, но и исследовательских и научных разработок по многим направлениям, в то время как за рубежом они интенсивно развивались [4]. Следствием стало наше отставание (особенно технологическое) и необходимость приобретения новых материалов, технологий изготовления и оборудования за рубежом, что негативно отразилось на состоянии всего строительного комплекса.

В этой связи актуальными являются исследования и разработки отечественных ученых, направленные на внедрение в строительную практику несущих систем из стали для распространенных типов зданий и сооружений. Такие работы ведутся по разным направлениям и охватывают широкий круг вопросов — от исследования несущих систем из стали для зданий различной этажности, узлов, решений по использованию новых и типовых железобетонных изделий Единого каталога и т. п. до разработки необходимой нормативной и технической документации [5—8].

В данной работе приводятся сведения об использовании стального каркаса для строительства многоэтажных зданий. В период с 2006 г. по разработкам автора был выполнен проект и в 2011 г. начата застройка жилого образования МЖК «Насып» в жилом районе г. Майкопа. В настоящее время завершено строительство в составе комплекса 198-квартирного жилого дома на основе стального каркаса и сборных железобетонных панелей перекрытий и стен.

Жилая часть комплекса включает в себя три одинаковые 10-этажные блок-секции по 40 квартир каждая на основе стальных конструкций *(рис. 1).* На первом этаже размещаются офисные и торговые помещения, на остальных этажах — квартиры. Типовой набор квартир стандартный 2—2—1—1—1 *(рис. 2),* два верхних этажа отведены под двухуровневые квартиры с набором комнат 4—4—3—2—2.

Однокомнатные квартиры имеют общую площадь от 50,87 до 57,47 м^2, двухкомнатные — от 74,7 до 84,73 м^2, а двухуровневые квартиры — от 99,45 м^2 в двухкомнатных до 150 м^2 в четырехкомнатных. В каждой квартире имеется балкон или лоджия площадью 5,66—12,35 м^2. Блок-секции оборудованы лифтовым и лестничным блоками, а также мусоропроводом.

Здание прямоугольное в плане размером 15,9×25,2 м, с выступами балконов по 2 м (по осям). В поперечном направлении осевые

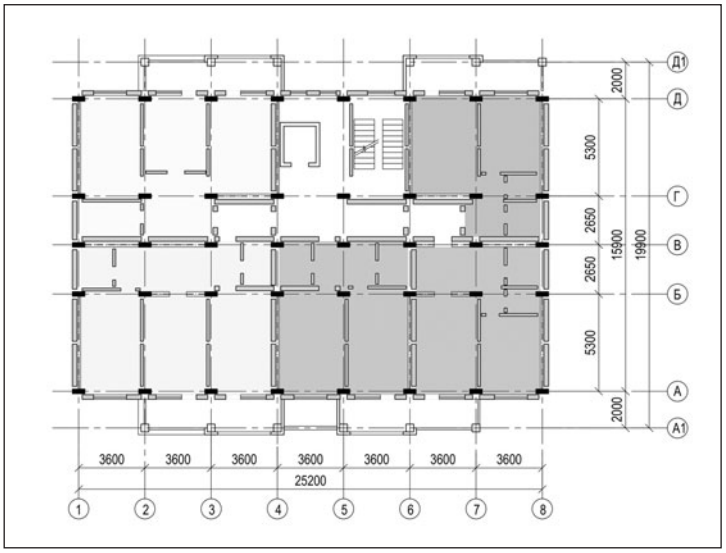
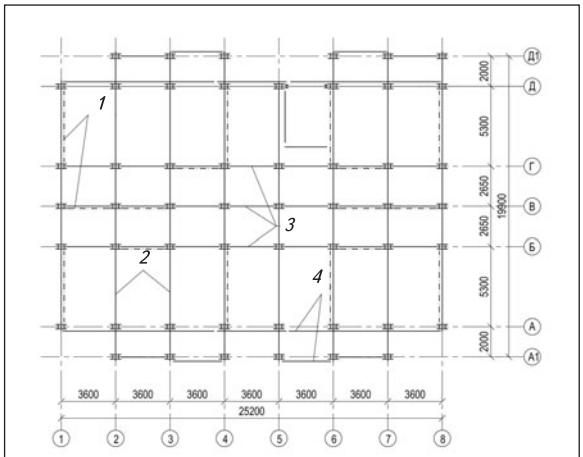


Рис. 2. *План типового этажа*



1 — связи; 2 — главные балки; 3 — распорки; 4 — вспомогательные балки

Рис. 3. *Монтажная схема элементов*

размеры 5,3×2,65×2,65×5,3 м, в продольном направлении принят стандартный шаг 3,6 м. Такое решение позволяет в каждой квартире иметь довольно просторную прихожую (холл) от 5,87 до 16,4 м^2. Высота первого этажа 3,3 м, остальных — 3 м. Для конструкций применена сталь класса С255.

В качестве несущей системы блок-секции принят связевой каркас со связями двух направлений, для элементов перекрытий и стен использованы сборные железобетонные панели [9—11]. Неизменяемость сооружения, пространственная жесткость и восприятие всех нагрузок обеспечиваются совместной работой горизонтальных жестких дисков перекрытий и вертикальных связевых ферм обоих направлений (лифтовая шахта отделена от каркаса здания и в работе не участвует). Наружные и внутренние панели стен при надежном соединении с каркасом также в работе системы на внешние воздействия на этом этапе не учитывались.

Перекрытия секций приняты по типу балочной клетки с системой главных и вспомогательных балок *(рис. 3)*. Главные балки приняты неразрезными из двутавров 35Б2 и расположены по поперечным осям. На консоли главных балок по этажной схеме по крайним продольным осям опираются вспомогательные балки из двутавров 14Б1 *(рис. 4)* и наружные продольные стеновые панели секций и балконов. Также на главные балки опираются панели перекрытий пролетом 3,51 м, а в торцах здания — наружные поперечные стеновые панели. Панели перекрытий и стен приваривают к главным балкам по закладным деталям, выпуски плит сваривают между собой, стыки заполняют бетоном с уплотнением вибраторами. По внутренним продольным осям в перекрытиях устанавливают распорки из гнутосварных прямоугольных труб размером 140×100×5 мм. Для опирания лестницы применены собственные балки, которые закрепляют к несущим элементам перекрытия. Главные балки имеют ребра жесткости и опорные столики в местах опирания ребер панелей. Стыки балок типовые на накладках по поясам и стенкам.

Колонны каркаса приняты сквозными, с соединительными элементами в виде планок *(рис. 5)*. Между ветвей колонн располагаются главные балки с опиранием на опорные столики, чем обеспечивается неразрезная схема работы последних. По высоте колонны разбиты на пять ярусов высотой по два этажа. В качестве ветвей колонн приняты двутавры с параллельными гранями полок и использованы колонные (23К1), широкополочные (23Ш1) и обычные профили (23Б1). Часть колонн в плане связевые, т. е. к ним крепятся связи каркаса. Остальные колонны — свободные. Для связевых колонн набор профилей по ярусам составляет 23К1—23К1—23Ш1—23Б1— 23Б1, а для свободных колонн 23Ш1—23Ш1—23Б1—23Б1—23Б1.

Расстояние по центрам тяжести ветвей 400 мм неизменно по всей высоте колонн, что обеспечивает свободное размещение главных балок между ветвями. Стыки колонн расположены на высоте около 800 мм от оси главных балок или примерно 450 мм от поверхности панели перекрытия соответствующего этажа. Аналогично главным балкам стыки колонн решены с накладками по стенкам и поясам. Колонны балконов повторяют конструкцию основных колонн, и ветви их приняты из двутавров 14Б1. Опорные столики под главные балки таврового сечения вы-

Рис. 4. ***Стальной каркас блок-секции***

полнены из стальных листов и закреплены к ветвям колонн.

Важные элементы несущей системы блок-секции — связи обоих направлений приняты из гнутосварных профилей квадратного сечения трех типоразмеров: 120×6, 120×10, 160×6 мм. Вертикальные связевые фермы образованы смежными колоннами, главными балками (распорками) и элементами решетки. Поперечные связевые фермы расположены по торцам и осям *4* и *6* с крестовой решеткой на два этажа. На первом ярусе профили 120×10 мм, на остальных — 120×6 мм. Продольные связи размещены на трех средних осях: крестовые на два этажа, портальные и полупортальные. Все полупортальные связи запроектированы сечением 160×6 мм, крестовые и портальные связи первого яруса — 120×10 мм, все расположенные выше ярусы — 120×6 мм.

Выбор типов связей продиктован расположением проемов в связевых ячейках. Для «глухих» проемов использованы крестовые решетки как более жесткие. Портальные связи приняты в ячейках с симметричным расположением дверного проема, а полупортальные — для ячеек с несимметричным проемом.

Узлы связей запроектированы на листовых фасонках, установленных в прорезях по торцам стержней. Для восприятия усилий от связей в колоннах предусмотрены вертикальные ребра жесткости между ветвями с опорой на главную балку. Аналогично решены узлы крепления связей, подходящих к колонне снизу.

Рис. 5. ***Возведение блок-секции жилого дома***

Расчет несущей системы блок-секции выполнен в программном комплексе ЛИРА на основное и особое сочетания нагрузок (сейсмическое воздействие 8 баллов).

Для связевой системы характерна возможность упрощать соединения элементов между собой и принимать их шарнирными. Это обстоятельство реализовано в расчетной модели каркаса: неразрезные главные балки шарнирно связаны с колоннами и все элементы продольного направления также соединены между собой шарнирами. Такое же крепление имеют все связи к соответствующим элементам и колонны к фундаментам. Как отмечалось выше, в работе каркаса не учитывали влияние стеновых панелей блок-секции, а также панелей перекрытий в работе на изгиб главных балок.

Проведенные расчеты показали, что несущая система в виде связевого каркаса обладает достаточной жесткостью. Так, перемещения верха от ветровой нагрузки (статической и пульсационной составляющих) составили 38,5 мм в продольном и 32,7 мм в поперечном направлениях (допустимое 66 мм). Частоты собственных колебаний по двум формам (максимальная величина 1,31 Гц) не превысили предельного значения 1,6 Гц. При этом напряжения в основных элементах каркаса (балки, колонны) составили 60—80 % расчетных характеристик стали, для наиболее нагруженных отдельных элементов связей напряжения — 85—90 % расчетных значений. Общий расход стали на каркас блок-секции составил примерно 280 т, в пересчете на удельный показатель — 60,6 кг/м^2. Расход металла по элементам конструкций следующий: колонны — 123 т, балки — 78 т, связи — 41 т.

Анализ полученных результатов показал, что представленная конструктивная система имеет достаточные резервы для улучшения основных показателей. Так, включение в работу каркаса лифтовой шахты позволит увеличить общую жесткость здания, уменьшить число связевых элементов и снизить усилия в колоннах, особенно связевых. Такого же эффекта можно добиться при включении в работу на горизонтальные воздействия стеновых панелей (особенно без проемов). Учет совместной работы стальных главных балок и сборных панелей перекрытий приведет к снижению расхода металла на балки и т. д. Для улучшения технико-экономических показателей необходимы дальнейшие исследования рассматриваемой несущей системы.

Вывод

Конструктивная система в виде стального связевого каркаса со сборными железобетонными панелями перекрытий и стен может применяться для возведения гражданских зданий различного назначения. Она позволяет реализовывать достаточно простыми средствами самые разнообразные архитектурные и планировоч-

ные решения. Требования норм по прочности, жесткости и устойчивости конструкции и ее элементов обеспечиваются с запасом при существенно более выгодных технико-экономических показателях по сравнению с применяемыми конструкциями. Для широкого внедрения в строительную практику таких конструкций необходимы дальнейшие исследования и разработки (теоретические, проектные, опытные), которые позволят улучшить их основные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дыховичный Ю. А., Максименко В. А.* Сборный железобетонный унифицированный каркас. М. : Стройиздат, 1985. 296 с.
2. *Розанов Н. П.* Крупнопанельное домостроение. М. : Стройиздат, 1982. 224 с.
3. *Ханджи В. В.* Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом. М. : Стройиздат, 1977. 187 с.
4. *Козак Ю.* Конструкции высотных зданий. М. : Стройиздат, 1986. 308 с.
5. *Гаврилова А. И., Гутенева С. В.* Малоэтажное строительство зданий с применением стальных конструкций // Вестник СевКавГТИ. 2009. № 9. С. 17–19.
6. *Туснина О. А.* Конструктивные решения узлов стального каркаса для малоэтажных жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 23–27.
7. *Туснин А. Р., Вараксин П. А.* Типовой стальной каркас пятиэтажного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 45–49.
8. *Ведяков И. И., Конин Д. В.* Принципы систематизации норм и правил по расчету конструкций для составления «Руководства по проектированию стальных конструкций многоэтажных зданий» // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 4–13.
9. *Шогенов С. Х., Балов А. А., Афашагов Б. З.* Новые конструкции универсальных панелей зданий // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3578.
10. Патент РФ 2418922. Универсальная строительная панель / *Шогенов С. Х.* Опубл. 20.05.2011. Бюл. № 14.
11. *Маилян Л. Р., Шогенов С. Х., Маилян Д. Р.* Современные решения строительных конструкций зданий и сооружений. Нальчик : Полиграфсервис, 2002. 208 с.

REFERENCES

1. Dyhovichnyj Ju. A., Maksimenko V. A. *Sbornyj zhelezobetonnyj unificirovannyj karkas* [Pregast concrete unified frame work]. Moscow, Strojizdat Publ., 1985. 296 p. (In Russian).
2. Rozanov N. P. *Krupnopanel'noe domostroenie* [Large-panel housing construction]. Moscow, Strojizdat Publ., 1982. 224 p. (In Russian).
3. Handzhi V. V. *Raschet mnogojetazhnyh zdanij so svjazevym karkasom* [Calculation of multi-storey buildings with a connected frame]. Moscow, Strojizdat Publ., 1977. 187 p. (In Russian).
4. Kozak J. *Konstrukcii vysotnyh zdanij* [The construction of high-rise buildings]. Moscow, Strojizdat Publ., 1986. 308 p. (In Russian).
5. Gavrilova A. I., Gutenjova S. V. Low-rise building construction using steel structures. *Vestnik SevKavGTI*, 2009, no. 9, pp. 17–19. (In Russian).
6. Tusnina O. A. Structural solutions of joints of a steel frame for low-rise residential building. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2017, no. 11, pp. 23–27. (In Russian).
7. Tusnin A. R., Varaksin P. A. Standard steel frame of a 5-story building. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 10, pp. 45–49. (In Russian).
8. Vedjakov I. I., Konin D. V. Principles of systematization of norms and rules for calculation of structures for preparation of "Manual for design of steel structures of multi-storey buildings". *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 10, pp. 4–13. (In Russian).
9. Shogenov S. H., Balov A. A., Afashagov B. Z. New constructions of the universal panels of building. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2016, no. 2. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3578 (acsessed 01.02.2019) (In Russian).
10. Patent RF 2418922. *Universal'naja stroitel'naja panel* [Universal construction panel]. Shogenov S. H. Publ. 20.05.2011. Bul. no. 14. (In Russian).
11. Mailjan L. R., Shogenov S. H., Mailjan D. R. *Sovremennye reshenija stroitel'nyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij* [Modern solutions of building structures and structures]. Nalchik, Poligrafservis Publ., 2002. 208 p. (In Russian).

Для цитирования: *Шогенов С. Х.* Конструкции десятиэтажных жилых зданий со стальным каркасом // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 4. С. 31–35.
DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.31-35.

For citation: Shogenov S. H. Constructions of 10-Storey Residential Buildings with Steel Frame. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 4, pp. 31–35. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.04.31-35.