

УДК 69.074

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*РАЗУМОВА О. В., проф.*

Кафедра архитектуры, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-33, e-mail: [postmaster@mail.pgasa.dp.ua](mailto:postmaster@mail.pgasa.dp.ua)

**Аннотация.** Использование сталей для конструкций инженерных сооружений, производственных зданий и других объектов является приоритетным, что обусловлено рядом технико-экономических положений. Стали как универсальный конструкционный материал в наибольшей мере удовлетворяют многообразию требований к конструкциям по уровню и сочетанию эксплуатационных и технологических характеристик. Энергоемкость стального проката и стоимость его в 2,5...3,0 и в 8...10 раз соответственно ниже, чем сплавов на основе алюминия или титана. Стали превосходят эти металлические сплавы и неметаллические конструкционные материалы (полимерные, композиционные, керамические и др.) также по способности к рециркуляции, т. е. многократному возвращению в производство с наименьшими потерями и затратами.

*Ключевые слова:* стальные конструкции; жилищно-гражданское строительство; конструкционное решение; железобетонное здание; материалоемкость

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ У ЖИТЛОВО-ЦИВІЛЬНОМУ БУДІВНИЦТВІ

*РАЗУМОВА О. В., проф.*

Кафедра архітектури, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-33, e-mail: [postmaster@mail.pgasa.dp.ua](mailto:postmaster@mail.pgasa.dp.ua)

**Анотація.** Використання сталей для конструкцій інженерних споруд, виробничих будівель та інших об'єктів стало пріоритетним, що зумовлено низкою техніко-економічних положень. Сталі як універсальний конструкційний матеріал найбільшою мірою задовольняють різноманіттю вимог до конструкцій за рівнем і поєднанням експлуатаційних і технологічних характеристик. Енергоємність сталевого прокату і вартість його в 2,5 ... 3,0 і в 8 ... 10 разів відповідно нижча, ніж сплавів на основі алюмінію або титану. Сталі перевершують ці металеві сплави і неметалеві конструкційні матеріали (полімерні, композиційні, керамічні тощо) також здатністю до рециркуляції, тобто багаторазового повернення у виробництво з найменшими втратами і витратами.

*Ключові слова:* сталеві конструкції; житлово-цивільне будівництво; конструкційне рішення; залізобетонна будівля; матеріаломісткість

## EFFECTIVENESS OF STEEL STRUCTURES IN CIVIL CONSTRUCTION

*Razumova O.V., Professor*

Department of Architecture, State Higher Education Establishment "Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-33, e-mail: [postmaster@mail.pgasa.dp.ua](mailto:postmaster@mail.pgasa.dp.ua)

**Summary.** The use of steel for the construction of engineering structures, industrial buildings and other facilities is a priority, due to a number of technical and economic provisions. Steels, as a universal construction material, to the greatest extent meet the diversity of requirements for the design level and the combination of operational and technological characteristics. Energy intensity of rolled steel and a cost of 2,5 ... 3,0 and 8...10 times lower respectively than the aluminum-based alloys or titanium. Steel exceed these metal alloy and non-metallic construction materials (plastics, composite, ceramic, etc.) Are also on the ability to recycle, that is repeated return to production with minimum losses and costs.

*Keywords :* steel structures; housing and civil construction; structural design; reinforced concrete; consumption of materials

Исследования новых материалов и конструктивных решений для строительства жилых, общественных зданий и промышленных сооружений представляют несомненный интерес [1; 3–10].

Использование сталей для конструкций инженерных сооружений, производственных зданий и других объектов является приоритетным, что обусловлено рядом технико-экономических положений. Стали как универсальный конструкционный материал в наибольшей мере удовлетворяют многообразию требований к конструкциям по уровню и сочетанию эксплуатационных и технологических характеристик. Энергоемкость стального проката и стоимость его в 2,5...3,0 и в 8...10 раз ниже соответственно, чем сплавов на основе алюминия или титана. Стали превосходят эти металлические сплавы и неметаллические конструкционные материалы (полимерные, композиционные, керамические и др.) также по способности к рециркуляции, т. е. многократному возвращению в производство с наименьшими потерями и затратами.

В Советском Союзе строительство жилых зданий традиционно осуществлялось либо в железобетоне, чему свидетельствует весьма развитая база строительной индустрии (сеть предприятий ЖБИ), либо в каменных или армокаменных конструкциях. Однако в жилищно-гражданском строительстве развитых стран Западной Европы и США до 70 % зданий возводится с использованием стальных каркасов. Дальнейшее использование металла в строительной индустрии перспективно в каркасах высотных зданий и небоскребах, в первую очередь из-за относительной «легкости» высокопрочных сталей по сравнению с другими строительными материалами. В северных странах применение железобетонных наружных стен вообще ограничено из-за их промерзаемости [2].

Повышение этажности возводимых зданий при этом требует технико-экономического обоснования использования металлического каркаса взамен монолитного железобетонного.

При проектировании зданий одним из основных показателей является затрата металла и железобетона, отнесенная к одному квадратному метру суммарной площади всех междуэтажных перекрытий и покрытий. Затраты металла принимаются в  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

Анализ данных по 42 зданиям с металлическим каркасом, построенным в различное время в Европе и США, позволил установить зависимость металлоемкости здания от количества этажей (рис. 1).

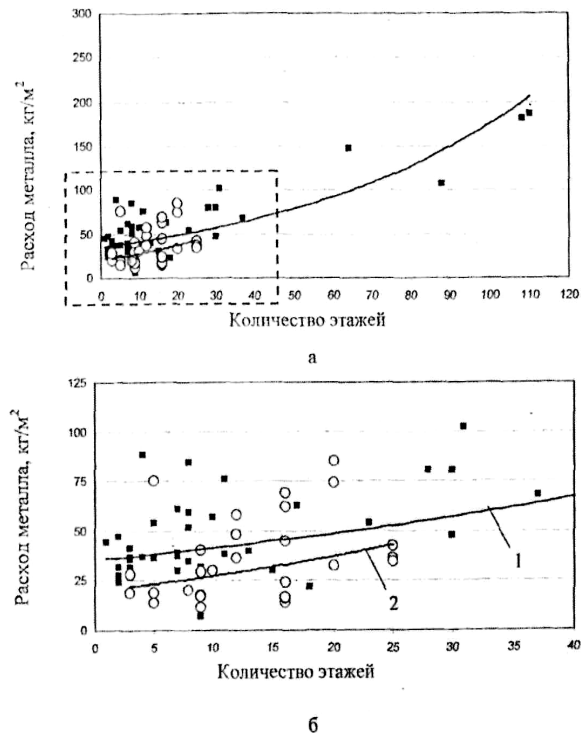


Рис. 1. Сводный график материалоемкости зданий: а – полный график; б – увеличенная часть (выделенная пунктиром); 1 – средний расход металла в зданиях со стальными каркасами; 2 – средний расход металла в железобетонных зданиях (на основе данных работ [1; 2]); ■ – здания со стальным каркасом; О – железобетонные / Fig. 1. Summary diagram of material consumption of buildings: а – a full schedule; б – an enlarged portion (highlighted dotted line); 1 – the average metal consumption in buildings with steel frames; 2 – average consumption of metal in reinforced concrete buildings (on the basis of [1; 2] data); ■ – a building with a steel frame; О – reinforced concrete

Для определения эффективности использования различных материалов в конструкциях каркасов был проведен сравнительный анализ металлоемкости зарубежных гражданских зданий со стальными каркасами, отечественных домов первых массовых серий и современных монолитных железобетонных зданий, возводимых в Украине и в странах СНГ [2].

Данная зависимость отображена на графике в осях «Этажность здания» – «Затраты металла на 1 м<sup>2</sup> общей площади ( $\text{кг}/\text{м}^2$ )» (рис. 1). Полученный график показывает ограничения использования железобетонных каркасов в зданиях выше 25 этажей. На этот же график были нанесены значения металлоемкости типовых железобетонных панельных домов и расход стали при монолитном строительстве, которое осуществлялось в Украине и странах СНГ в течение последних 20 лет. Приведенные данные по расходу металла являются ориентировочными и могут служить только в качестве предварительной оценки целесообразности вновь проектируемых высотных зданий.

Вместе с тем, учитывая рациональный выбор современных систем каркасов, правильный выбор сталей, разумный учет и снижение нагрузок, можно высказать следующие предположения :

- для зданий высотой 10...20 этажей затраты стали могут составлять 30...40 кг/м<sup>2</sup> общей площади;
- для зданий высотой 30...40 этажей они в среднем могут находиться в пределах 60 кг/м<sup>2</sup> общей площади;
- в зданиях высотой 60...70 этажей количество металла в среднем должно составлять около 80...90 кг/м<sup>2</sup> общей площади;
- в сверхвысотных зданиях, имеющих 100 и более этажей, затраты стали могут доходить до 150...200 кг/м<sup>2</sup> общей площади.

Металлическими конструкциями перекрывают здания с большими пролетами без внутренних колонн, что вызвано условиями эксплуатации.

Большую архитектурную выразительность имеют современные большепролетные здания общественного назначения : театры, рынки, крытые стадионы и т. п. Изготовление таких конструкций связано с вопросами применения сталей повышенной и высокой прочности. Яркое воплощение новые формы нашли в сооружениях Олимпиады-80 в г. Москва, причем особенно эффективны в качестве покрытий мембранные оболочки (рис. 2, пр. Мира) в уникальном инженерном сооружении – стационарном покрытии Большой спортивной арены в Лужниках (рис. 3) и др.

Интерес к стальным конструкциям объясняется многими причинами : они легче аналогичных железобетонных в 8...12 раз; дают возможность монтажа крупными блоками с размерами в несколько этажей; позволяют вести монтажную сборку на болтах, исключив монтажную сварку и мокрые процессы; уменьшают в 2...4 раза, по сравнению с железобетонными, массу надземной части здания, а значит, упрощают фундаменты под них; существенно сокращают сроки строительства.

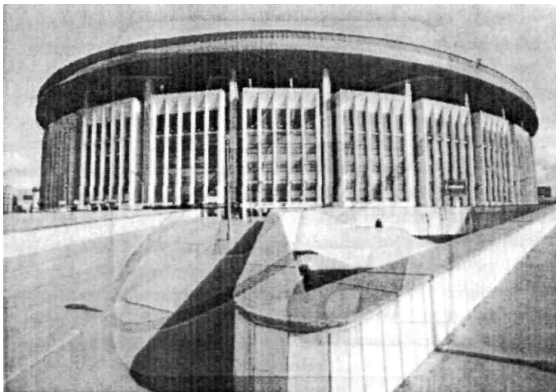


Рис. 2. Крытый стадион на пр. Мира (г. Москва) /  
Fig. 2. Indoor Stadium on pr. Mira (Moscow)

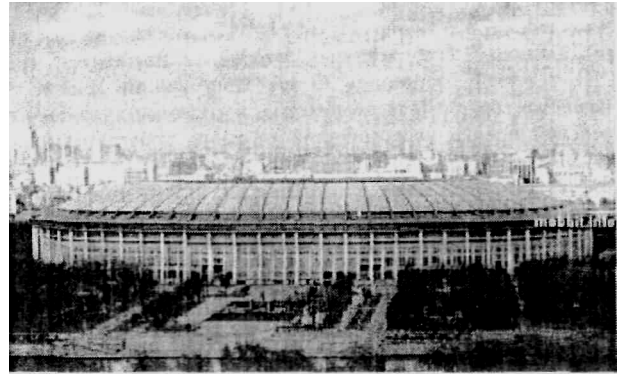


Рис. 3. Большая спортивная арена в Лужниках /  
Fig. 3. Grand Sports Arena in Luzhniki

Проанализировав опыт использования металла в строительстве гражданских зданий и представленные графики, можно сделать следующие выводы : при увеличении этажности зданий в два-три раза (от 10...20 этажей до 30...40 этажей) затраты стали в среднем (от общей площади этажей) увеличиваются в 2...3 раза; при увеличении этажности зданий в три...шесть раз (от 10...20 этажей до 60...70 этажей) затраты стали в среднем (от общей площади этажей) увеличиваются всего в 1,5 раза; при увеличении этажности зданий в десять раз (от 10...20 этажей до 100 и более этажей) затраты стали в среднем (от общей площади этажей) увеличиваются только в 2 раза.

Расход основных строительных материалов в зданиях различной этажности в монолитном железобетоне варьируются довольно широко в зависимости от конструктивной схемы, прочностных характеристик материалов, величины действующих нагрузок и других факторов. В среднем расход стали на 1 м<sup>2</sup> общей площади этажей составляет от 25 до 70 кг.

### Вывод

Использование металлических конструкций в современных каркасах зданий высотой до 25 этажей в некоторых случаях экономически более эффективно по сравнению с железобетоном, а с увеличением этажности сталь становится незаменимым материалом для основного каркаса здания.

В последней трети XX столетия благодаря углублению научных основ металловедения разработаны стали, обладающие широким спектром потребительских свойств, в первую очередь прочностных характеристик. У проектировщиков, конструкторов и технологов, вынужденных раньше работать только с существующими материалами, появилась возможность заказывать прокат с требуемыми наперед заданными свойствами, необходимыми для создания новейших сооружений, машин и оборудования, эксплуатирующихся в различных условиях, в том числе экстремальных.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы формообразования стальных каркасов многоэтажных и высотных зданий : монография / [В. И. Большаков, М. М. Жербин, О. В. Разумова]. – Днепропетровск : ПГАСА, 2003. – 124 с.
2. Использование сталей повышенной прочности в новом высотном строительстве и реконструкции : монография / [В. И. Большаков, О. В. Разумова]. – Днепропетровск : ПГАСА, 2008. – 216 с.
3. Большаков В. И. Критерии оптимальности конструкций многоэтажных зданий со стальными каркасами / В. И. Большаков, М. М. Жербин, О. В. Разумова // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Вып. 25, ч. 3. – Днепропетровск : ПГАСА, 2003. – С. 15–25.
4. Большаков В. И. Сплав архитектуры и металла! / В. И. Большаков, О. В. Разумова, Н. В. Сысойлов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2006. – С. 12–21.
5. Большаков В. И. Применение строительной стали повышенной и высокой прочности для строительства и реконструкции жилья / В. И. Большаков, Н. М. Демин, О. В. Разумова // Вісник ПДАБА. – № 11. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2007. – С. 4–20.
6. Большаков В. И. Реконструкция жилого пятиэтажного здания в г. Днепропетровске / В. И. Большаков, О. В. Разумова, И. И. Могилевцева // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2008. – С. 34–39.
7. Реконструкция жилого дома с надстройкой этажей по улице Батумской, 10, г. Днепропетровск : учеб. пособ. / В. И. Большаков, О. В. Разумова, В. А. Мартыненко, В. В. Бабич. – Днепропетровск : Gaudeamus, 2003. – 188 с.
8. Большаков В. И. Шире применять строительные стали повышенной и высокой прочности для строительства и реконструкции жилья / В. И. Большаков, О. В. Разумова, М. М. Жербин // МГОМ. – № 1 (40). – Днепропетровск : ПГАСА, 2008. – С. 6–24.
9. Структурная теория упрочнения конструкционных сталей и других материалов : монография / В. И. Большаков, Л. И. Тушинский. – Днепропетровск : Свидлер А. Л., 2010. – 484 с.
10. Металлические конструкции. Элементы стальных конструкций : учеб. пособ. в 3 т. / [В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов] и др.; под ред. В. В. Горева. – Москва : Высшая школа, 2004. – 527 с.

## REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Zherbin M.M. and Razumova O.V. *Osnovy formoobrazovaniya stal'nykh karkasov mnogo`etazhnykh i vysoznykh zdaniy* [Basics of shaping steel-framed multi-storey and high-rise buildings]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2003, 124 p. (in Russian).
2. Bolshakov V. I. and Razumova O.V. *Ispol'zovanie stalej povyshennoj prochnosti v novom vysoznom stroitel'stve i rekonstrukcii* [The use of high strength steels in the new building construction and renovation]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2008, 216 p. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Zherbin M.M. and Razumova O.V. *Kriterii optimal'nosti konstrukcij mnogo`etazhnykh zdaniy so stal'nymi karkasami* [Criteria for the optimal design of multi-storey buildings with steel frames]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2003, vol. 25, part 3, pp. 15–25. (in Russian).
4. Bolshakov V.I., Razumova O.V. and Sysoylov N.V. *Splav arhitektury i metalla!* [Alloy and metal architecture!]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2006, pp. 12–21. (in Russian).
5. Bolshakov V.I., Demin N.M. and Razumova O.V. *Primenenie stroitel'noj stali povyshennoj i vysokoj prochnosti dlya stroitel'stva i rekonstrukcii zhil'ya* [Application of construction steel increased and high strength for the construction and reconstruction of housing]. *Visnik PDABA* [Gazette PSACEA]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2007, no. 11, pp. 4–20. (in Russian).
6. Bolshakov V.I., Razumova O.V., and Mogilevtseva I.I. *Rekonstrukciya zhilogo pyati`etazhnogo zdaniya v g. Dnepropetrovske* [Reconstruction of residential five-storey building in Dnipropetrovsk]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2008, pp. 34–39. (in Russian).
7. Bolshakov V.I., Razumova O.V., Martynenko V.A. and Babich V.V. *Rekonstrukciya zhilogo doma s nadstrojkoj `etazhej po ulice Batumskoj, 10, g. Dnepropetrovsk* [Reconstruction of residential building with a superstructure floors on the street Batumi, 10, Dnipropetrovsk]. Dnipropetrovsk : Gaudeamus Publ., 2003, 188 p. (in Russian).
8. Bolshakov V.I., Razumova O.V. and Zherbin M.M. *Shire primenyat' stroitel'nye ctali povyshennoj i vysokoj prochnosti dlya stroitel'stva i rekonstrukcii zhil'ya* [More wide to used construction steels increased and high strength for the construction and reconstruction of housing]. *MTOM* [MTTM]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2008, no. 1 (40), pp. 6-24. (in Russian).
9. Bol'shakov V.I. and Tushinskiy L.I. *Struktural'naya teoriya uprochneniya konstrukcionnykh stalej i drugih materialov* [Structural theory of hardening of structural steels and other materials]. Dnipropetrovsk : Publishing House "Svidler A.L.", 2010, 484 p. (in Russian).
10. Gorev V., Uvarov B.Yu., Filippov V.V. and etc. *Metallicheskie konstrukcii. `Elementy stal'nykh konstrukcij* [Metal Constructions. Elements of Steel Structures]. Moscow : Higher School Publ., 2004, 527 p. (in Russian).

*Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. В. И. Большаковым (Украина); д-ром техн. наук, проф. Т. С. Кравчуновской (Украина)*

Поступила в редколлегию 13.02.2016 г.

Принята в печать 22.02.2016 г.