




Design of Modular Structures and Use of Prefabricated Sanitary Modules. A Review

Cisse, Mamady^{1*} 

Kosterev, Demid Anatolievich² 

Vasileva, Irina Leonidovna^{1**} 

Nemova, Darya Viktorovna¹ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

² LLC Modular Constructions, Moscow, Russian Federation

Correspondence: * email mamadycisse08@gmail.com; contact phone +79817736781

**email vasilievaa_irina@mail.ru; contact phone +79095863919

Keywords:

Plumbing module; Modular construction; Economic efficiency; Sanitary modules; Block modules; Bulk blocks; Industrial construction; Reconstruction

Abstract:

Modular structures can be seen as a game-changing technology, as they provide faster construction, safer production, better quality control, cost-effectiveness, and lower environmental impact compared to traditional on-site construction. These advantages can be maximized in the construction of high-rise buildings or in the construction of large residential areas consisting of houses with typical architectural solutions. With a combined annual growth rate of 5.69%, the modular construction market is projected to expand to a market value of \$ 154.8 million by the end of 2023. Traditional design and modular design differ in many aspects, including design, collaboration, logistics, and others. The technical challenges associated with the widespread adoption of modular design offer potential solutions for future research. The article considers an example of using a prefabricated sanitary unit with various components, and also presents a calculation of economic efficiency.

1 Introduction/ Введение

Во всем мире строительство жилой недвижимости является самым массовым и перспективным направлением развития строительной отрасли. Возведение нового и современного жилья приводит не только к обеспечению необходимыми жилыми площадями население, но и также способствует повышению архитектурной привлекательности обликов городов и оздоровлению их территорий [1].

Современными строительными трендами в мире являются:

- энергоэффективные здания;
- безбарьерная среда внутри и вне зданий;
- устойчивая архитектура;
- деревянная архитектура;
- комфортное зонирование и гибкость планировок;
- модульное строительство.

Термин «модульное строительство» не является новинкой. Этот термин активно используется в современной архитектурно-строительной лексике и имеет два смысловых значения.

Во-первых, этот термин обозначает объемно-планировочное решение здания, когда в планировке дома применяется определенный «модуль», состоящий из набора помещений, и, повторяясь, образует жилое здание или его определенную часть. Во-вторых, с конструктивной

точки зрения, «модульное строительство» - это когда здание представляет из себя набор ячеек – блок-модулей.

2 History of modular construction/ История модульного строительства

Первые разработки «модульного строительства» в России относятся к 1928 г., когда архитектор К. Мельников разработал идею своего дома, состоящего из двух врезанных цилиндров с определенным функциональным зонированием. В данном доме под модульностью понималось принципиально новое объемно-планировочное решение жилой ячейки (рис. 1). Позднее, в 30-ые годы, это решение использовалось в многоквартирных жилых зданиях другими советскими архитекторами (например, жилая ячейка типа F М. Гинзбурга), но эти здания возводились традиционными строительными методами, поскольку до внедрения индустриальных методов было еще далеко.

Расцвет «модульного строительства» из объемных блок-модулей в мире приходится на 50-60-ые гг. XX века, в период развития и подъема индустриального строительства из железобетона.

В послевоенный период проблема дефицита жилой площади была характерна для обществ по обе стороны железного занавеса [2]–[4]. В Европе Вторая мировая война оставила после себя не только разрушенные города, но и еще и колоссальное отставание в области инвестиций в гражданскую инфраструктуру, и прежде всего в сфере жилищного строительства.

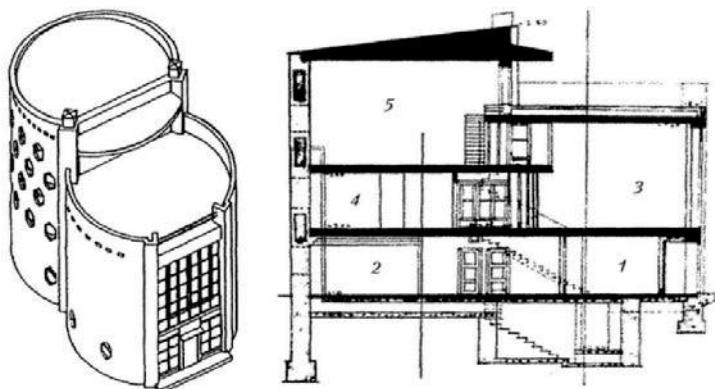


Рис. 1 - Дом-мастерская Константина Мельникова [5]: 1 – вход, 2 – столовая, 3 – гостиная, 4 – спальня, 5 – студия

Fig. 1 - Konstantin Melnikov's house-studio [5]: 1 - entrance, 2 - dining room, 3 - living room, 4 - bedroom, 5 - studio

В 50-60-ые годы во многих странах, в том числе и в России, начинают формироваться специализированные предприятия по производству таких элементов зданий из железобетона как колонны, балки, фермы, плиты перекрытий и т.д. В обиходе появляются новые термины: КПД – крупное панельное домостроение, ОБД – объемно-блочное домостроение [6], [7]. В первом случае применяются предварительно изготовленные крупные железобетонные панели и плиты, а во втором – целые объемные железобетонные блоки.

3 Modern modular construction / Современное модульное строительство

Массовое модульное строительство в России оказалось временно забытым. В 2012 году в Воронеже было построено предприятие Выбор-ОБД [5] по производству модернизированных блок-модулей старого железобетонного образца типа колпак (рис. 2). Современный тип объемного блока отличается от советских образцов бесшовной технологией.



Рис. 2 - Возведение жилого дома из железобетонных ОБ производства Выбор-ОБД [5].

Fig. 2 - Construction of an apartment building from reinforced concrete OB production Choice-OBД [5].

Свое применение в строительной отрасли России нашли и легковесные блок-модули (блок-контейнеры), но их использование не связано с массовым капитальным строительством. Легкие блок-модули применяются для возведения временных сооружений (вахтовые поселки, охранные пункты, временные офисные здания, строительные городки и др.). Выглядят они лаконично и даже просто. Во внешней отделке используется оцинкованный или крашенный профилированный лист (рис. 3).

В то же время в Европе[1], [8]–[10] и всем мире строительство из легких блок-модулей развилось до полноценных строительных объемов и активно применяется во многих видах строительства (жилье, офисы, школы и т.д.) и так же для других практических задач.

Легкие объемно-пространственные конструкции почти полностью вытеснили из массового строительства тяжелые железобетонные блок-модули [11]–[13].



Рис. 3 - Сборка блок-модуля из легких конструкций [5].

Fig. 3 - Assembling a block module from lightweight structures [5].

Многие зарубежные легкие блок-модули представляют собой пространственные каркасы из металла или дерева, с межкомнатной и фасадной облицовкой, потолочным и напольным покрытиями, заполнениями оконных и дверных проемов, а иногда и со встроенной мебелью, то есть с практически 95 % заводской готовностью.

4 Application of sanitary modules (STM) in modern construction / Применение сантехнических модулей (СТМ) в современном строительстве

Сантехнический модуль — это санузел с полной отделкой и инженерными коммуникациями, изготавливается в заводских условиях и поставляется на строительную площадку, готовый к монтажу. Вариативность конструктива позволяет внедрять технологию на любом этапе с сохранением технико-экономических показателей проекта. Это одно из ключевых преимуществ сантехнических модулей. Компания **Modulbau** является лидером по производству сантехнических модулей. Внедрение готовых санузлов в проекте гарантирует оптимизацию сроков строительства и затрат на отделку объекта.

Сантехнические модули используются при строительстве различных объектов: жилых домов, отелей, больниц, апартаментов, коммерческой недвижимости, объектов промышленного назначения. Габариты, комплектация модуля, расположение инженерных систем – все эти параметры гибкие и определяются в техническом задании, которое предоставляет заказчик.

Строительство ванной комнаты традиционным способом требует высокой степени надзора и управления на площадке [14]–[16].

Контролируется целый ряд работ: сантехников, электриков, плиточников, декораторов, отделочников и других.

Готовые сантехнические модули позволяют экономить время и деньги на этих работах. Более 100 операций упрощаются путем поставки на строительную площадку готового модульного продукта: от закупок и хранения материалов до контроля за рабочими.

Изготовление модуля занимает всего 3 дня, это значительно ускоряет процесс строительства любого объекта. Отлаженное производство позволяет выпускать продукцию по фиксированной стоимости и стандартного качества, а значит использование сантехнических модулей позволяет не только строить быстрее, но и повышает качество конечного продукта.

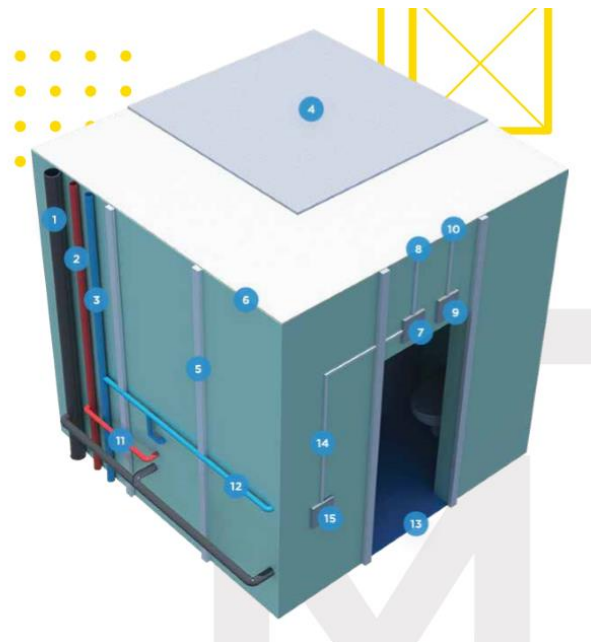


Рис. 4 - Строение сантехнического модуля[15].

Fig. 4 - Building a plumbing module[15].

Комплектация сантехнического блока представлена на рис.4:

1. Стояк канализации

2. Трубы стояка ГВС
3. Трубы стояка ХВС
4. Потолочная панель
5. Стоечный профиль
6. ГКЛВ (гипсокартон листовой влагостойкий)
7. РК (распределительная коробка)
8. Ввод к щитку квартиры
9. КУП (коробка уравнивания потенциалов)
10. Ввод ДСУП к щитку квартиры
11. Разводка труб ГВС
12. Разводка труб ХВС
13. Порог
14. Электропроводка
15. Выключатель многоклавишный (освещение, вентиляция, подсветка зеркал)

5 Installation and connection / Монтаж и подключение

Монтаж в монолитных домах (общее время монтажа 30мин)

Монтаж возможен после заливки перекрытий (минимум 3 этажа) и до момента зашивки фасадов. Этапы монтажа включают в себя следующие процессы:

1. СТМ (сантехнический модуль) поднимается на выносную площадку [4], [14]–[18].
2. СТМ перемещается к месту установки с помощью съёмной оснастки.
3. СТМ устанавливается на место и присоединяется к стоякам.

Монтаж в панельных домах (общее время монтажа 15мин)

Монтаж осуществляется поэтажно. Этапы:

1. СТМ монтируется краном на место установки после монтажа стеновых панелей.
2. После установки СТМ монтируется перекрытие.
3. Далее производится присоединение СТМ к коммуникациям.

6 The benefits of using the technology / Выгода от применения технологии

Сокращение срока отделки (внутри санузла) на 40%

Экономия общего бюджета на проект (суммарный эффект) до 2,5%

Заводское качество отделки и монтажа инженерных сетей (157 параметров)

Гибкость и вариативность производства под любые технико-экономические показатели проекта. К каждому объекту возможен индивидуальный подход, гарантирующий 100% уникальность проекта.

7 A factory quality finish / Заводское качество отделки

Отделка санузла — это самый сложный процесс в отделке всей квартиры, так как на площади 4 м² должно производиться множество разноплановых работ. Общая экономия сроков не менее 50% от общего срока отделки квартиры. СТРОГИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА – алгоритм приемки ОТК по участкам. Более 157 параметров контроля, включающие систему штрихкодирования и шифрования ошибок, а также правило двойной проверки гарантируют высокое качество продукта [15], [19].



Рис. 5 - Строительное исполнение [15], [19].

Fig. 5 - Construction performance [15], [19].

Сантехмодуль может иметь разные габариты, инженерное оснащение, отделку и комплектацию в зависимости от требований девелопера.

8 Examples of finishing and configuration / Примеры отделки и комплектации

Помимо типовых решений компания Modulbau создает проект сантехмодуля индивидуально в соответствии с заданием Заказчика. Типовые решения приводятся, как правило, предназначены для иллюстрации возможной стоимости в соответствии с комплектацией продукта.



Рис. 6 - Стандарт класс [15].

Fig. 6 - Standard class [15].

Стандарт от 130000 руб.: Отделка сантехнических модулей “Стандарт” применяется в жилых домах эконом-класса, офисах, общежитиях, отелях 3***, клиниках, зданиях общественного назначения.



Рис. 7 - Комфорт класс [15], [19].
Fig. 7 - Comfort class[15], [19].

Комфорт от 180000 руб.: Отделка сантехнического модуля “Комфорт” применяется в жилых домах комфорт-класса, апартаментах, отелях 4***. Материалы и сантехника подбираются, в зависимости от назначения объекта.

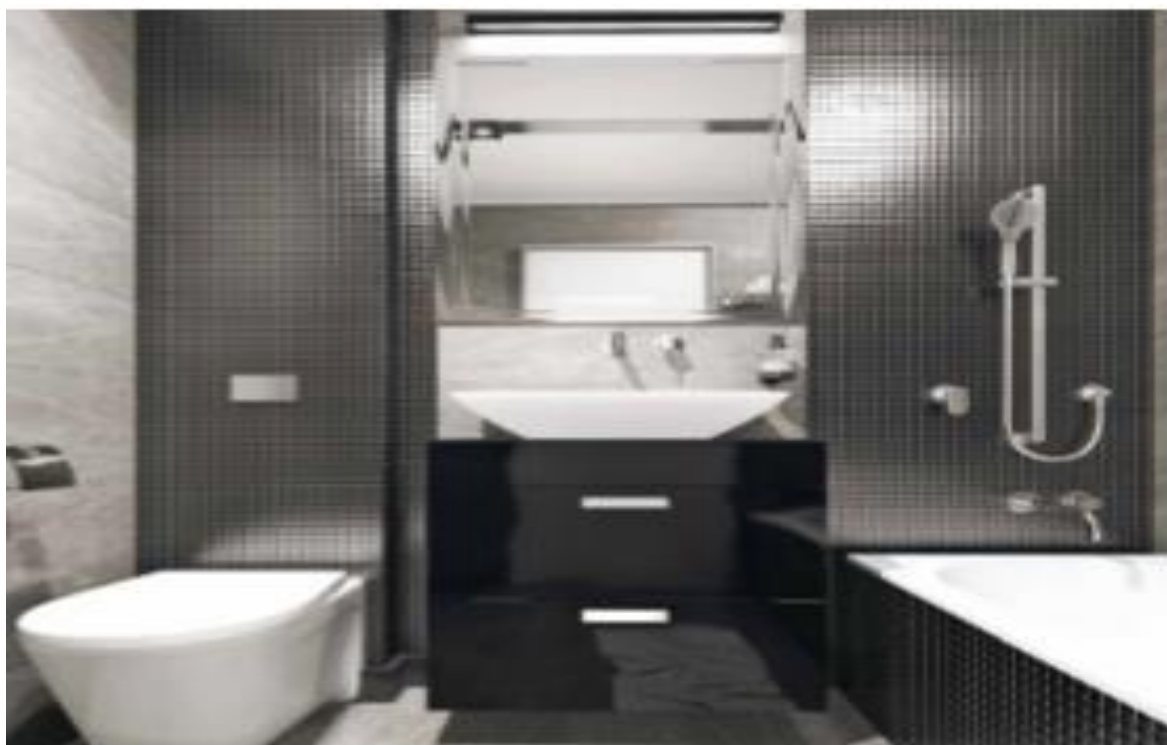


Рис. 8. Бизнес-класс[4].
Fig. 8 - Business Class[4].

Бизнес-класс от 250000 руб.: В сантехнических блоках “Бизнес” используются дорогие отделочные материалы, мебель и сантехнические изделия, а также может быть установлено любое дополнительное оборудование.

9 A cost-effectiveness / Экономическая эффективность

Компания **Modulbau** разработала калькулятор экономического эффекта от внедрения модульных конструкций, который даст каждому девелоперу ответ на вопрос: какая экономическая выгода формируется от внедрения модулей на конкретный объект.

Рассмотрим расчет экономической эффективности на примере многоквартирного дома на 1654 квартиры, который возводится монолитным способом. Использование технологии ускоряет процесс строительства на 2,75 мес. по сравнению с традиционным способом возведения и отделки санузла.

Таблица 1. Сведения расчета при применении сантехнических модулей

Table 1. Calculation information when using plumbing modules

Наименование	Сумма экономии
Аренда земельного участка	6 513 865,21 р
Аренда башенного крана	1 925 000,00 р
Содержание стройплощадки	6 875 000,00 р
Экономия на % по кредиту	41 958 368,38 р
Дополнительная прибыль за счет повышения прайса	80 946 250,00 р
Общий экономический эффект от СТМ (сантехнический модуль)	138 218 483,58 р
Выгода на 1 квартиру	83 962,19 р
Общий экономический эффект от внедрения на 1 кв.	83 962,29 р
Дополнительная прибыль с проекта	138 873 621,34 р

10 Conclusions /Заключение

После перехода на эскроу счета и проектное финансирование маржинальная доходность девелоперских проектов существенно снизилась (разница между выручкой от реализации и переменными затратами). Девелоперы ищут способы сократить сроки строительства и снизить расходы. Один из вариантов – это применение новой технологии, такой как сантехнические модули, позволяющей девелоперу сократить срок строительства на 2,5 месяца и, тем самым, увеличить экономическую эффективность проекта. Процесс установки модульных санузлов отличается технологичностью и простотой. В результате застройщики снижают материальные и трудовые затраты, при этом увеличивая скорость возведения объекта [4], [15].

Выгоды для девелоперов:

- **Для финансово-экономического отдела:** каждый месяц экономии сроков дает до 1 % маржинальной прибыли с объекта, повышая инвестиционную привлекательность проекта. Зная фиксированную стоимость продукта, легче формировать финансово-инвестиционный бюджет.

- **Для маркетологов и продуктологов:** высокое и, самое главное, стабильное качество отделки санузла — это дополнительный аргумент. Возможность уникальной планировки и любой комплектации позволит создать продукт, способный удовлетворить любые потребности.

- **Для проектного отдела:** для типовых решений разработаны BIM-модели, использование которых существенно сокращает время для проектирования санузла и инженерных коммуникаций внутри. Любой индивидуальный заказ начинается с разработки проекта сантехмодуля, а значит проектировщики застройщика получают готовое решение, которое интегрируется за 3 минуты в общий проект объекта [20]–[22].

• **Для генподрядчика и производственного отдела:** отделка – это часть строительного процесса, которая требует максимального контроля и прозрачности. Сократив целый этап отделочных работ, повышается управляемость всем объектом. Меньше контроля – меньше затрат на ИТР. Значительно сокращаются отходы и затраты на вывоз мусора. Контракт осуществляется только с одним подрядчиком – не тратится время на выбор и закупку материалов, а все гарантии несет один контрагент.

References

1. Thai, H.-T., Ngo, T., Uy, B. A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*. 2020. 28. Pp. 1265–1290. DOI:10.1016/j.istruc.2020.09.070.
2. Brissi, S.G., Debs, L. Lean, automation and modularization in construction. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019. 2019. Pp. 711–722. DOI:10.24928/2019/0177.
3. Chai, T.J., Tan, C.S., Chow, T.K., Ling, P.C.H., Koh, H.B. A Review on prefab industrialised building system modular construction in malaysia: The perspective of non-structural studies. 192019. 11–21 p.
4. Lacey, A.W., Chen, W., Hao, H., Bi, K. Structural response of modular buildings – An overview. *Journal of Building Engineering*. 2018. 16. Pp. 45–56. DOI:10.1016/j.jobbe.2017.12.008.
5. D A, S., L A, G. MODERN MODULAR CONSTRUCTION2018. 4–5 p.
6. Young, B.E., Seidu, R.D., Thayaparan, M., Appiah-Kubi, J. Modular construction innovation in the UK: The case of residential buildings. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2020. 0(March). Pp. 806–816.
7. Modular construction as a modern direction of construction of affordable housing. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35147434> (date of application: 4.03.2021).
8. Abdelmageed, S., Zayed, T. A study of literature in modular integrated construction - Critical review and future directions. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 277. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124044.
9. Li, H., Zhang, C., Song, S., Demirkesen, S., Chang, R. Improving Tolerance Control on Modular Construction Project with 3D Laser Scanning and BIM: A Case Study of Removable Floodwall Project. DOI:10.3390/app10238680. URL: www.mdpi.com/journal/applsci.
10. Abdul Nabi, M., El-Adaway, I.H. Modular Construction: Determining Decision-Making Factors and Future Research Needs. *Journal of Management in Engineering*. 2020. 36(6). DOI:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000859.
11. Liew, J.Y.R., Chua, Y.S. Design and automation for prefabricated prefinished volumetric construction in tall buildings2021. 195–224 p.
12. Tavernier, I., Cambier, C., Galle, W., De Temmerman, N. A Conceptual Framework for Interpretations of Modularity in Architectural Projects. 2032021. 127–137 p. ISBN:9789811587825.
13. Srisangeerthan, S., Hashemi, M.J., Rajeev, P., Gad, E., Fernando, S. Fully-Modular Buildings Through a Proposed Inter-module Connection. 942021. 303–312 p. ISBN:9789811572210.
14. Fiume, F., Callegaro, N., Albatici, R. Modular Construction for Emergency Situation: A Design Methodology for the Building Envelope2021. 131–141 p.
15. Production of ready-made plumbing modules (plumbing cabins) for developers. URL: <https://modulbau.ru/> (date of application: 4.03.2021).
16. Kontovourkis, O., Konatzii, P. Environmental and cost assessment of customized modular wall components production based on an adaptive formwork casting mechanism: An experimental study. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 286. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.125380.
17. Mushinsky, A.N., Simin, S.S. Construction of unique buildings and structures. Construction of fast-moving buildings and structures. URL: www.unistroy.spb.ru (date of application: 4.03.2021).
18. Godbole, S., Lam, N., Mafas, M.M.M., Gad, E. Pounding of a modular building unit during road transportation. *Journal of Building Engineering*. 2021. 36. DOI:10.1016/j.jobbe.2020.102120.
19. Production of ready-made plumbing modules (santeccabin) for developers. URL: <https://modulbau.ru/> (date of application: 4.03.2021).
20. Modular construction as a modern direction of construction of low-rise housing. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29042057> (date of application: 5.03.2021).
21. WORLD EXPERIENCE OF BUILDING MODULAR BUILDINGS IN MODERN CONDITIONS. URL:

- https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38073726 (date of application: 5.03.2021).
22. The use of modular buildings in construction. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41520259> (date of application: 5.03.2021).