



Research Article

Received: April 19, 2021

Accepted: July 02, 2021

Published: December 07, 2021

ISSN 2304-6295

# Base's structure of Prefabricated Sanitary Module: erection and life stages

Vatin, Nikolai Ivanovich<sup>1</sup> Sinelnikov, Alexey Sergeevich<sup>1</sup> Cisse, Mamady<sup>2\*</sup> Vasileva, Irina Leonidovna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation; [vatin@mail.ru](mailto:vatin@mail.ru) (V.N.I.); [alexey\\_sinelnikov@mail.ru](mailto:alexey_sinelnikov@mail.ru) (S.A.S.); [vasilievaa\\_irina@mail.ru](mailto:vasilievaa_irina@mail.ru) (V.I.L.)

<sup>2</sup>Institut Supérieur Des Mines Et Geologie De Boke; [Sisse2.m@edu.spbstu.ru](mailto:Sisse2.m@edu.spbstu.ru) (C.M.);

Correspondence:\* email [Sisse2.m@edu.spbstu.ru](mailto:Sisse2.m@edu.spbstu.ru); contact phone [+7 981 773-67-81](tel:+79817736781)

## Keywords:

Thin-walled cold-formed profile; Strength; Finite element method; Prefabricated sanitary module; Prefab-construction; Modular construction

## Abstract:

The use of prefabricated structures and elements improves the quality and speed of construction. The sanitary module is a finished bathroom, combined with a toilet, after this referred to as STM. It is a finished room with a supporting wall frame and base, completely finished. It has mounted utilities and plumbing fixtures. **The object of the research** is the STM base frame. Analysis of the scientific literature has shown that the study of the bearing capacity of the STM frame was not carried out. **The object of research** is based on the module structure. By literature review is demonstrated that there are no scientific researches of module structure base work in erection on site. **Method of research.** Basically, the numerically-analytical method is to be used for the analysis of structural behaviour. **Results.** Analysis of results of FEM calculations and on-site erection represent that the bearing capacity of module base is ensured.

## 1 Введение / Introduction

Одним из факторов национального благосостояния в масштабе страны является степень обеспеченности ее граждан жильем. Доступность жилья для заданной локации может быть обеспечена финансовыми механизмами, технологическими и техническими решениями [1-9]. Финансовые механизмы представляют собой различные программы субсидирования, кредитования и социальных выплат. Снизить стоимость квадратного метра способно применение современных технологий, эффективных строительных конструкций, которые позволяют уменьшить количество издержек на этапе строительства [10-19].

Развитие процесса строительного производства идет поэтапно, начиная от самых простых методов технологии и организации строительства и заканчивая сложными процессами возведения уникальных зданий и сооружений. Каждый технологический уклад в области строительства имеет свои признаки и особенности, переход от предыдущей стадии к последующей коррелирует с научно-технологическим процессом развития мира. Сегодня наблюдается переход на более современный и технологичный уровень строительного процесса. Основной особенностью нового технологического уклада является применение готовых сборных конструкций и элементов зданий и сооружений заводского изготовления.

Применение готовых сборных конструкций и элементов зданий и сооружений заводского изготовления позволяет повысить качество, скорость строительства. Сантехнический модуль (готовая ванная комната, совмещенная с санузлом, далее по тексту STM), один из таких

Vatin, N.; Sinelnikov, A.; Cisse, M.; Vasileva, I.

Base's structure of Prefabricated Sanitary Module: erection and life stages;

2021; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 98 Article No 9803. doi: 10.4123/CUBS.98.3

элементов, представляет собой готовое помещение с несущим каркасом стен и основанием, полностью выполненное с финишной отделкой и со смонтированными инженерными коммуникациями и сантехническими приборами. Основной областью применения СТМ является жилищное строительство, строительство коммерческого назначения (гостиницы, отели), строительство медицинских учреждений, объектов образования [20-26]. Сборка и изготовление СТМ производится как по готовым проектным решениям, так и по индивидуальному техническому заданию для конкретного объекта. В России изготовлением СТМ занимается компания «MODULBAU», см. рисунок 1 [5].



**Рис. 1 - Сантехнический модуль [5]**

**Fig. 1 - Prefabricated Sanitary Module [5]**

Каркас стен СТМ выполнен из тонкостенных холодногнутых профилей, каркас основания СТМ выполнен из горячекатаного проката. Однако, совместное применение оцинкованного холодногнутого тонкостенного профиля и горячекатаного проката приводит к образованию гальванической пары, что увеличивает скорость коррозии в узлах соединения стен с каркасом основания. Качественным решением данной проблемы является применение холодногнутого тонкостенного профиля в каркасе основания.

PREFAB-технологии входят в обычную практику применения при строительстве объектов различного назначения. Теоретические исследования в данном направлении проводятся, начиная с оценки инженерной составляющей и, заканчивая экономической оценкой применения модульного строительства.

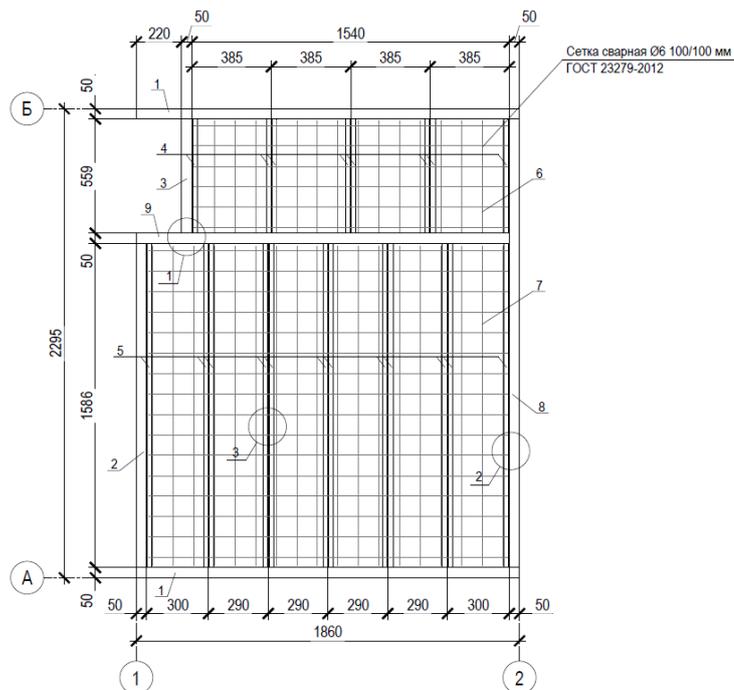
Брайцев Э.В., Сиссе М., Ватин Н.И. провели научное исследование с определением звукоизоляции воздушного шума перегородок готовых сантехнических модулей компании «MODULBAU» [5]. Согласно результатам работы авторы подтвердили соответствие государственным стандартам по требованиям звукоизоляции стен СТМ.

В статье [3] произведено вариантное сравнение имеющегося опыта в разработках модульных инженерных блоков, включая опыт прошлых лет, выполнен анализ эффективности применения модульных решений в строительстве, предложены варианты современных модулей полной заводской готовности.

Костерев Д.А. в статье [6] провел анализ снижения стоимости строительства при применении PREFAB-технологий.

Однако, анализ и исследование несущей способности каркаса СТМ не проводились. Таким образом, в силу отсутствия экспериментально-теоретических данных по работе каркаса СТМ тема исследования является актуальной.

Объектом исследования является каркас основания СТМ (рисунок 2, схема выполнена авторами статьи). Каркас основания выполнен из металлической профильной трубы 50x50x4 Российский Государственный Стандарт ГОСТ 8639-82 «Трубы стальные квадратные. Сортамент» [27], уголок 25x25x3 Российский Государственный Стандарт ГОСТ 8509-93 «Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент» [28], уголок 75x50x5 Российский Государственный Стандарт ГОСТ 8510-86 «Неравнополочные уголки стальные горячекатаные» [29]. В тело рамы уложена сетка Ø6Bp-1, бетон В20.



**Рис. 2 - Каркас основания СТМ (1,2,3,8,9 – труба 50x4, ГОСТ 8639-82 [27]; 4,5 – уголок 25x3, ГОСТ 8509-93 [28])**

**Fig. 2 - Base's structure of Prefabricated Sanitary Module (PSM) (1,2,3,8,9 – tube 50x4, GOST 8639-82 [27]; 4,5 – L-section 25x3, GOST 8509-93 [28])**

На раму основания устанавливаются стеновые панели. Каркас стеновых панелей выполнен из оцинкованных профилей с толщиной стенки 0,6-1,0 мм, Zn= 100-130 г/м<sup>2</sup>. Шаг стоек не более 400 мм. При формировании каркаса учитывается необходимость крепления к стенам сантехприборов, ревизионных люков, двери, электрощита. Изнутри, снаружи каркас зашивается влагостойким ГКЛВ толщиной 12,5 мм. В каркас стен закладывается минераловатный утеплитель НГ плотностью 35-50кг/м<sup>3</sup>. Задние стены СТМ, примыкающие к несущим стенам, не зашиваются ГКЛ и не закладываются минераловатным утеплителем.

Все стены внутри облицовываются по ГКЛВ плиткой керамической в соответствии с дизайн-проектом заказчика. Потолок выполняется из панели ПВХ 32мм.

Цель работы – определение несущей способности каркаса основания СТМ в стадии монтажа и эксплуатации.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

1. Анализ работы каркаса основания СТМ на стадиях монтажа и эксплуатации;
2. Сбор нагрузок, проведение аналитического поверочного расчета элементов каркаса основания СТМ.

## 2 Методы / Methods

Численный метод исследования основан на методе конечных элементов (МКЭ), реализующий базовые принципы метода перемещений строительной механики. Численное моделирование в процессе настоящего исследования производилось в конечно-элементном расчетном комплексе SCAD OFFICE.

## 3 Результаты и обсуждения / Results and Discussion

### 3.1 Анализ работы каркаса основания / Analysis of base's work

Работа каркаса основания СТМ на стадиях монтажа и эксплуатации имеет свои особенности. В процессе монтажа с помощью строп, которые пропускают через квадратный профиль каркаса основания, осуществляется подъем СТМ на перекрытие на место фактического расположения согласно проектным объемно-планировочным решениям. Для выравнивания СТМ

по уровню используют прокладки из рулонного материала. В процессе монтажа элементы каркаса основания работают как простые однопролетные балки, имеющие сплошное раскрепление из плоскости изгиба.

После монтажа в процессе эксплуатации каркас основания несет конструктивную функцию, так как основание СТМ имеет сплошное опирание на перекрытие.

Следовательно, стадия монтажа СТМ является наиболее худшим вариантом, с точки зрения работы каркаса основания. В дальнейшем в статье будет рассмотрена работа каркаса основания на стадии монтажа.

### 3.2 Аналитическое исследование / Analytical research

Аналитическое исследование несущей способности элементов каркаса основания СТМ было проведено согласно требованиям свода Правил СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [30]. Сбор и определение комбинаций нагрузок выполнялось согласно Своду Правил СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [31].

В процессе монтажа СТМ на каркас основания действуют постоянные и кратковременные нагрузки:

1. Собственный вес каркаса основания;
2. Собственный вес бетонного пола основания;
3. Собственный вес стен (каркас, заполнение, обшивка ГКЛ, финишное покрытие);
4. Собственный вес потолка (ПВХ панель, 32мм);
5. Собственный вес инженерных коммуникаций;
6. Кратковременная нагрузка от сантехнического оборудования (ванна, унитаз, раковина).

Граничные условия заданы связями (ограничение перемещения по осям X, Y, Z) в угловых точках каркаса основания согласно технологии монтажа с помощью строп. Соединение внутренних балок с квадратным профилем выполнено шарнирно. Раскрепление из плоскости изгиба всех элементов каркаса основания принято сплошным, так как пол основания выполнен бетонным со стальной сеткой.

Моделирование расчетной схемы, задание нагрузок и проведение поверочного расчета проводилось в конечно-элементном комплексе SCAD. Общий вид расчетной схемы представлен на рисунке 3 (схема авторов).

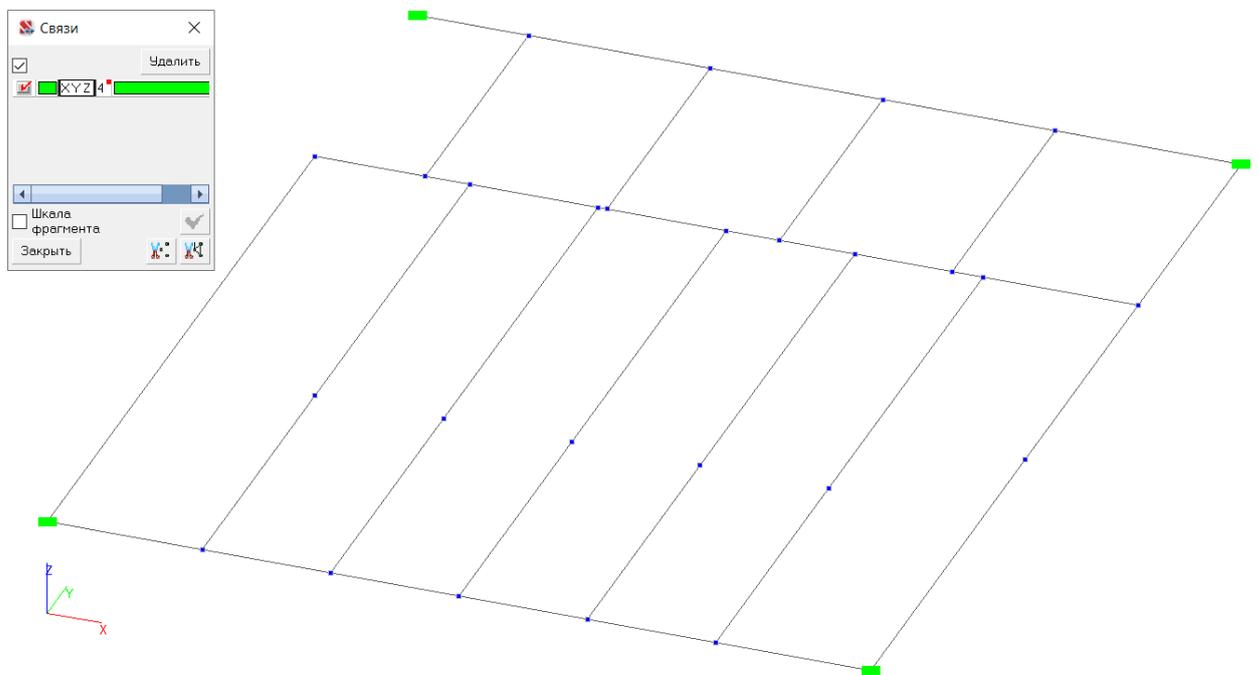
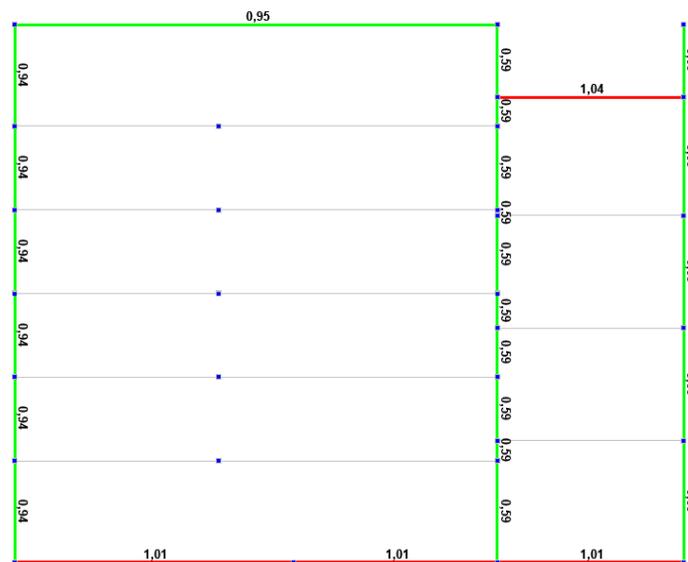


Рис. 3 - Расчетная схема каркаса основания СТМ (общий вид, расположение связей)  
Fig. 3 – FE scheme of base's structure of PSM (general view, nodal boundary conditions)

Согласно результатам поверочного расчета получены коэффициенты использования элементов каркаса основания по несущей способности по прочности (Рисунок 4, схема авторов). Превышение расчетных усилий над предельными в элементах каркаса профиля для основных элементов, выполненных из квадратной трубы, составляет 4%. Элементы, выполненные из составного сечения из равнополочного уголка, не рассматриваются в расчете, так как фактически работают в составе бетонного основания с применением стальной сетки.



**Рис. 4 - Коэффициент использования элементов каркаса основания СТМ**  
**Fig. 4 – Factor of bearing capacity of PSM base's structure**

Учитывая безаварийную практику монтажа СТМ (более 25000 единиц СТМ) на строительных объектах с 2017 года, можно сделать вывод, что несущая способность основания каркаса СТМ обеспечена.

## 4 Заключение / Conclusions

В качестве общих выводов и результатов выполненного исследования является следующее:

1. Исследован каркас основания сантехнического модуля.
2. На основании анализа результатов поверочных расчетов и практики монтажа элементов каркаса основания сантехнического модуля несущая способность элементов основания каркаса СТМ обеспечена.

## References

1. Vilman Y.; Sinenko S.; Grabovyy P.; Grabovyy K.; Korol E.; Kagan P. Peculiarities of technology and mechanization of construction of multi-storied buildings. Vestnik MSUCE. 2012. №4. Pp. 170-174.
2. Sinelnikov, A. strength of thin-walled cross-sections: test and numerical modelling.; 2015; Magazine of Civil Engineering; No. 5(57); Pp. 74-85. DOI 10.5862/MCE.57.7.
3. Zhuk P.E.; Zhivotov D.A.; High-performance modular plumbing unit factory ready; 2021; Colloquium-journal; No. 3-1(90); Pp. 32-39.
4. 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).
5. E.V. Braitsev, M. Cisse, N. I. Vatin, Determination of sound insulation of air noise partitions of ready sanitary units of the company "MODULBAU" Russia, ISI SCIENCE WEEK, 2021, Pp. 123–126.
6. Kosterev, D. How does prefab-technologies reduce construction costs; 2020; Budget and contract work in construction; No. 12; Pp. 53-57.

Vatin, N.; Sinelnikov, A.; Cisse, M.; Vasileva, I.

Base's structure of Prefabricated Sanitary Module: erection and life stages;

2021; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **98** Article No 9803. doi: 10.4123/CUBS.98.3



7. Cisse, M.; Kosterev, D.; Vasileva, I.; Nemova, D. Design of modular structures and use of prefabricated sanitary modules. A review; 2021; AlfaBuild; 16(1) Article No 1602. doi: 10.34910/ALF.16.2.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.jobe.2017.12.008.
12. D A, S., L A, G. MODERN MODULAR CONSTRUCTION 2018. 4–5 p.
13. 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.
14. 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).
15. 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.
16. 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](http://www.mdpi.com/journal/applsci).
17. 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.
18. Liew, J.Y.R., Chua, Y.S. Design and automation for prefabricated prefinished volumetric construction in tall buildings 2021. 195–224 p.
19. 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.
20. 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.
21. Fiume, F., Callegaro, N., Albatici, R. Modular Construction for Emergency Situation: A Design Methodology for the Building Envelope 2021. 131–141 p.
22. Production of ready-made plumbing modules (plumbing cabins) for developers. URL: <https://modulbau.ru/> (date of application: 4.03.2021).
23. 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.
24. Mushinsky, A.N., Simin, S.S. Construction of unique buildings and structures. Construction of fast-moving buildings and structures. URL: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru) (date of application: 4.03.2021).
25. 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.jobe.2020.102120.
26. Production of ready-made plumbing modules (santecabin) for developers. URL: <https://modulbau.ru/> (date of application: 4.03.2021).
27. GOST 8639-82 "Square steel tubes. Range" (<https://docs.cntd.ru/document/1200004717>)
28. GOST 8509-93 "Hot-rolled steel equal-leg angles. Dimensions" (<https://docs.cntd.ru/document/1200001025>)
29. GOST 8510-86 "Hot-rolled steel unequal-leg angles. Dimensions" (<https://docs.cntd.ru/document/1200001023>)
30. SP 16.13330.2017 "Steel structures" (<https://docs.cntd.ru/document/456069588>)
31. SP 20.13330.2016 "Loads and actions" (<https://docs.cntd.ru/document/456044318>)