

В.С. ШИРОКОВ
А.В. СОЛОВЬЁВ

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СЕРИЙНЫХ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE PERFORMANCE OF STANDARD MODULAR BUILDINGS

Рассмотрено конструктивное исполнение модульных зданий трансформаторных подстанций. На основе расчета основных несущих элементов проанализировано конструктивное решение блок-модулей. Основной проблемой является применение модулей одинаковой конструкции в зданиях с различной компоновочной схемой и нагрузками от оборудования. Целью работы является выявление наиболее значимых с инженерно-строительной точки зрения общих закономерностей модульных зданий. Определено, что для различных конструктивных элементов ведущими являются проверки от разных сочетаний нагрузок и компоновочных схем. Рассмотрен вопрос горизонтальной жесткости блок-модулей. Обращено отдельное внимание на проектирование узловых соединений стоек с горизонтальными элементами как наиболее ответственных.

Ключевые слова: модульные здания, блок-модуль, нагрузки, несущая способность, перемещения, узловые соединения

В последнее время все чаще применяются блочно-модульные здания. Одним из активно развивающихся направлений является использование их в качестве трансформаторных подстанций при обустройстве месторождений [1–6]. За счет максимальной заводской готовности блок-модулей с предустановленным оборудованием резко сокращаются трудозатраты и сроки строительства объекта, что является основными критериями при возведении объектов в труднодоступных регионах. Однако наличие тяжелого оборудования в виде трансформаторов и необходимости учета монтажных нагрузок заставляет уделять особое внимание проектированию несущего каркаса данных зданий [7–10].

В настоящей работе рассмотрены серийно выпускаемые модульные здания трансформаторных подстанций производства ООО «Строй-Инжиниринг». С целью унификации блок-модули имеют одинаковые сечения основных элементов несущего каркаса, однако отличаются своими габаритами и вариантами компоновки в здании. Далее приводится краткое описание рассматриваемых зданий.

Тип 1: модульное здание габаритными размерами 3,0×12,0×3,2(н) м скомпоновано из двух блок-мо-

The design of modular buildings of transforming sub-stations is considered. On the base of the calculation of the main load-bearing elements the structural solution of the block modules is analyzed. The main problem is the use of modules of the same design in buildings with different layout schemes and equipment loads. The purpose of the work is to identify the most important general patterns of modular buildings from the engineering and construction point of view. It is determined that for various structural elements the tests from different combinations of loads and layout schemes are leading. The problem of horizontal rigidity of block-modules is considered. Special attention has been paid to the design of the node joints of columns with horizontal elements as the most important.

Keywords: modular buildings, block-module, loads, bearing capacity, displacements, nodal connections

дулей 3,0×6,0×3,2(н) м, состыкованных по короткой стороне. Крыша двускатная. Опирается на фундамент под стойками К1 и в серединах балок Б2 (рис. 1, а).

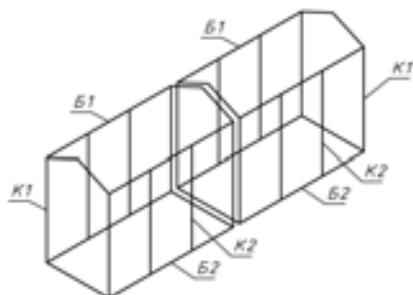
Тип 2: модульное здание из одиночного блок-модуля размерами 3,0×6,0×3,2(н) м. Крыша двускатная. Опирается на фундамент под стойками К1 и в середине балок Б2 (рис. 1, б).

Тип 3: модульное здание габаритными размерами 4,8×6,75×2,6(н) м скомпоновано из двух блок-модулей 2,4×6,75×2,6(н) м, состыкованных по длинной стороне. Крыша плоская. Опирается на фундамент под стойками К1 и в серединах балок Б2 (рис. 1, в).

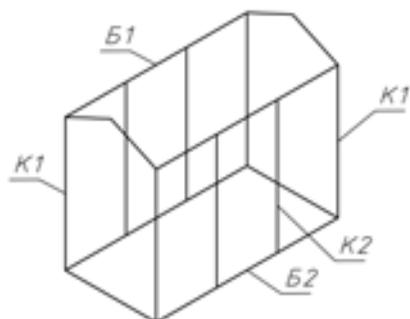
Тип 4: модульное здание габаритными размерами 4,8×6,0×5,0(н) м скомпоновано из четырех блок-модулей 2,4×6×2,5(н) м, состыкованных по длинной стороне. Крыша плоская. Опирается на фундамент под стойками К1 и К2 (рис. 1, г).

Соединение стоек К1 и балок Б1 и Б2 принято жестким. Крепление балок настила БН1, а также балок покрытия Б5 к балкам Б1 принято шарнирным. Для учета жесткости перекрытия в расчетную схему введены гибкие связи с шарнирным креплением к несущим элементам в уровне перекрытия и покрытия. Учет совместной работы блок-модулей

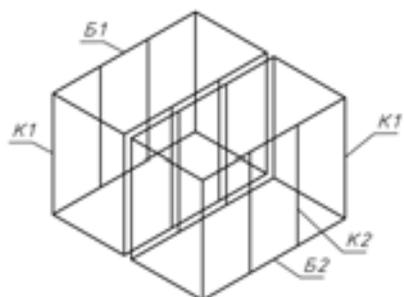
а



б



в



г

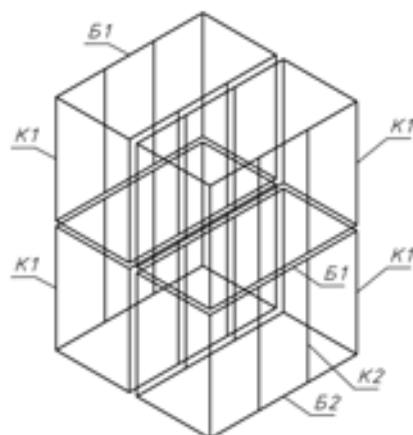


Рис. 1. Геометрические схемы модульных зданий

друг с другом смоделирован путем объединения линейных перемещений угловых точек стоек K1. Все несущие элементы модулей выполнены из гнутых профилей толщиной 6 мм.

При расчете зданий учитывались следующие виды нагрузок:

- собственный вес модулей;
- снеговые нагрузки, соответствующие V снеговому району;
- ветровые нагрузки, соответствующие V ветровому району;
- нагрузка от оборудования, согласно техническому заданию;
- сейсмическое воздействие, соответствующее проектному землетрясению 9 баллов.

Помимо расчета зданий в проектном положении, выполнен расчет модулей на момент монтажа. Для этого были составлены отдельные расчетные схемы, отличающиеся закреплением блок-модулей (рис. 2). Учитывались только нагрузки от собственного веса и оборудования, умноженные на коэффициент динамичности $k_d=2$ как для внезапно приложенной нагрузки.

В результате проведенных расчетов получены коэффициенты использования сечений элементов. Значения коэффициентов для рассматриваемых типов зданий приведены в табл. 1.

Анализируя представленные результаты, видно, что для разных элементов ведущими проверками являются разные сочетания: для стоек K1 – монтажные нагрузки блока типа 1; для ригелей B1 – монтажные нагрузки блока типа 3; для ригелей B2 – проектное положение блока типа 1.

Помимо проверки по первому предельному состоянию элементов каркаса, определены горизонтальные перемещения стоек блок-модулей (табл. 2). Максимальные перемещения всех стоек – в направлении длинного ригеля, т.е. в направлении минималь-

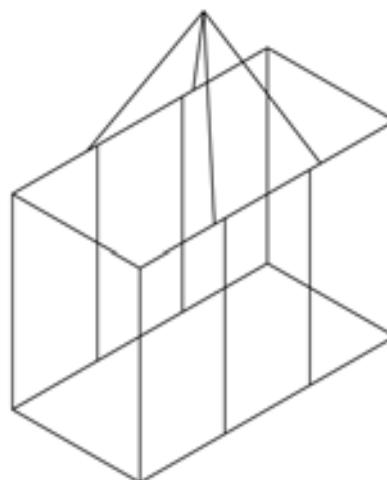


Рис. 2. Расчетная схема блок-модуля при монтаже

Таблица 1

Коэффициенты использования несущей способности сечений основных элементов блок-модулей

Элемент	Проектное положение				Монтаж			
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Стойки К1	0,75	0,77	0,78	0,54	0,97	0,54	0,59	0,54
Верхний ригель Б1	0,63	0,63	0,47	0,63	0,89	0,87	0,98	0,83
Нижний ригель Б2	0,93	0,79	0,85	0,44	0,73	0,73	0,55	0,83

Таблица 2

Горизонтальные перемещения стоек в пределах одного этажа

Модульное здание	Перемещение, мм	Предельное перемещение, мм
Тип 1	12,2	21,3
Тип 2	18,4	21,3
Тип 3	17,4	17,7
Тип 4	12,7	16,3

ной жесткости блок-модуля. При этом при одной и той же конструкции блока можно уменьшить перемещения стоек за счет совместной компоновки модулей друг с другом, это хорошо видно на примере модульных зданий типов 1 и 2. Также при наличии промежуточных вертикальных элементов можно повысить горизонтальную жесткость путем включения этих элементов в работу, например, устроив жесткий узел сопряжения стоек К5 и горизонтальных ригелей.

Еще одним крайне важным моментом является проектирование узловых соединений элементов несущего каркаса. Наиболее ответственными являются узлы сопряжения стоек с горизонтальными ригелями, так как они должны являться жесткими

для обеспечения геометрической неизменяемости конструкции. Также из-за пространственной работы блок-модуля эти узлы находятся в сложном напряженно-деформированном состоянии, так как в общем случае воспринимают изгибающие моменты в двух направлениях. При этом необходимо стремиться к компактности узлового соединения. Одними из способов конструктивного решения указанных особенностей являются: увеличение длины шва (рис. 3, а) и введение дополнительных элементов жесткости (рис. 3, б). Возможны и другие способы решения именно самой конструкции узла, например, в виде коннектора, который будет удовлетворять вышеуказанным требованиям.

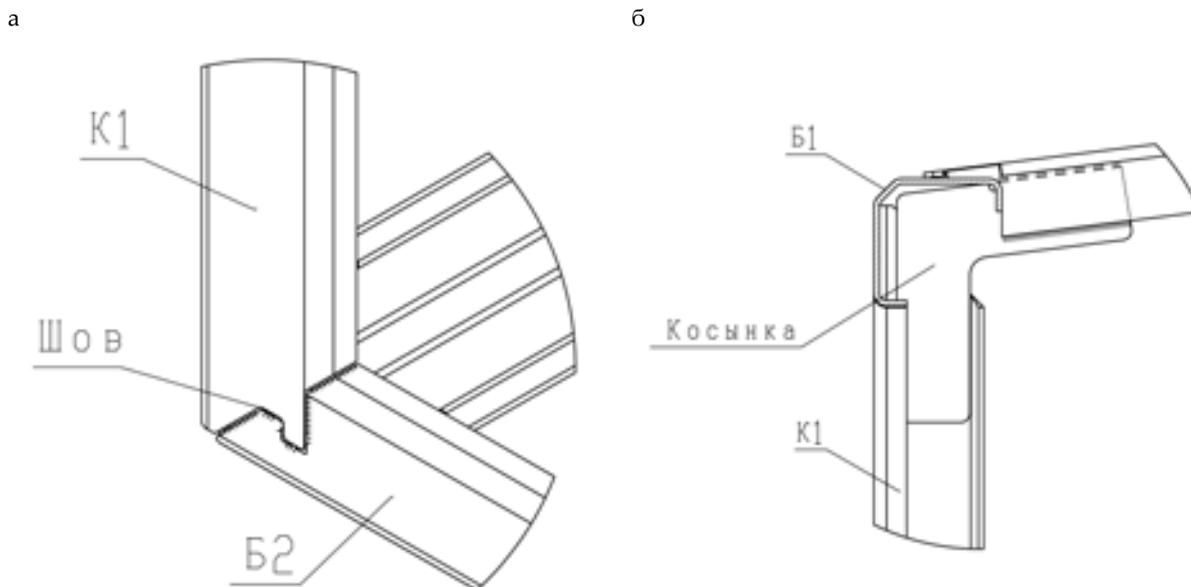


Рис. 3. Узловые соединения стойки с горизонтальными элементами

Выводы. 1. При проектировании модульных зданий необходимо рассматривать максимально возможное количество сочетаний типов блок-модулей и действующих на них нагрузок, так как при одном и том же конструктивном исполнении модуля не всегда очевидно наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок и компоновочного расположения.

2. Горизонтальные перемещения вертикальных элементов блок-модулей близки к предельным. Горизонтальную жесткость модульных зданий можно повысить за счет совместной компоновки блоков друг с другом, а также включением в работу промежуточных или дополнительных вертикальных элементов.

3. Следует уделять особое внимание проектированию узловых соединений стоек и горизонтальных ригелей, так как они должны обеспечивать геометрическую неизменяемость каркаса, воспринимать усилия в двух направлениях и быть компактными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холопов И.С., Широков В.С., Соловьёв А.В., Макаров Ю.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния быстровозводимого модульного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 15-19.

2. Холопов И.С., Широков В.С., Соловьёв А.В. Усиление несущих конструкций и узловых соединений быстровозводимого модульного здания с целью обеспечения его безопасной эксплуатации // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2015. №4. С. 56–62.

3. Дьяченко Л.Ю., Дьяченко О.С., Малашенко А.С. Особливості зведення швидкостпурджуваних малоповерхових будівель із блок-модулів в Україні // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2016. №2. С. 69–74.

4. Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Быков В.Л., Князь И.П., Ерофеев П.Ю. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом / под ред. д.т.н. Ю.Н. Казакова. СПб.: Гуманистика, 2004. 472 с.

5. Мушинский А.Н., Зимин С.С. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. СПб., 2015. №4. С. 182–193.

6. Зааражнов С.И., Рачков Д.С., Новиков М.А., Юдин С.В. Технологии производства в строительстве: модульные системы // Вестник МГСУ. 2010. №3. С. 185–190.

7. Гордеева Т.Е. О методике оценки надежности строительной системы по критерию прочность // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. №1. С. 104–107.

8. Гордеева Т.Е., Усольцева К.А. Моделирование конструктивной схемы жилого здания для оценки его начальной надежности // Градостроительство и архитектура. 2013. №3. С. 6–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.03.1.

9. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / под общ. ред. А.В. Перельмутера. М.: АСВ, 2007. 482 с.

10. Алпатов В.Ю., Лукин А.О., Сахаров А.А. Исследования жесткости узла базы стальной колонны, состоящей из одной опорной плиты // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №9. С. 9–14.

Об авторах:

ШИРОКОВ Вячеслав Сергеевич

заведующий лабораторией кафедры металлических и деревянных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: ShirokovViacheslav@gmail.com

SHIROKOV Viacheslav S.

Head of the Laboratory of the Metal and Wooden Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: ShirokovViacheslav@gmail.com

СОЛОВЬЁВ Алексей Витальевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: savsmr@rambler.ru

SOLOVIEV Aleksey V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Metal and Wooden Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: savsmr@rambler.ru

Для цитирования: Широков В.С., Соловьёв А.В. Анализ конструктивного исполнения серийных модульных зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №1. С. 24-27. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.4.

For citation: Shirokov V.S., Soloviyov A.V. Analysis of constructive performance of standard modular buildings // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 24-27. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.4.