УДК 692.42/.47

© Г. М. Бадьин, д-р техн. наук, профессор
© С. А. Сычёв, канд. техн. наук, доцент
© Ю. Н. Казаков, д-р техн. наук, профессор
© Д. В. Смирнова, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sasychev@ya.ru, sm.diana.v@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-78-85

© G. M. Badyin, Dr. Sci. Tech., Professor
© S. A. Sychev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© Yu. N. Kazakov, Dr. Sci. Tech., Professor
© D. V. Smirnova, undergraduate
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: sasychev@ya.ru, sm.diana.v@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ НАДСТРОЙКИ ЗДАНИЯ ИЗ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОЙ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ

TECHNOLOGY OF BUILDING VERTICAL EXTENSION FROM PREFABRICATED HIGH-TECH MODULAR SYSTEMS

Описана технология возведения мансардной крыши из модульных систем заводской готовности, разработанная для создания монолитной кровли зданий различного назначения. Рассчитаны основные технические показатели разработанной и известных технологий, которые отражают высокую эффективность описанной системы по сравнению с аналогичными системами возведения мансардной крыши.

Ключевые слова: технология, кровля, мансарда, модульная система, заводская готовность.

The article describes the technology of erecting the mansard roof from prefabricated modular systems designed to create a monolithic roof of buildings for various purposes. There have been calculated the main technical indicators of both the developed and well-known technologies, and a high efficiency of the described system in comparison with similar systems of erecting mansard roofs has been substantiated.

Keywords: technology, roof, mansard, module system, prefabrication.

Наиболее простое и эффективное техническое решение при реконструкции зданий, а также при новом строительстве — надстройка мансардных этажей. Современные технологии позволяют устраивать надстройки зданий из легких и теплоэффективных материалов. Богатый диапазон рынка светопрозрачных ограждающих конструкций позволяет создавать внутри чердачного пространства помещения с различной комбинацией источников естественного освещения. Постепенный отход от типового проектирования, частное финансирование строительства вызвало распространение скатной кровли и в современной и в постперестроечной России. Но в современном строительстве плохо развиты скоростные методы и эффективные технологии возведения мансард, что требует научно-

методического обоснования ускоренных способов монтажа и утепления мансардных этажей, внедрения современных конструкций и высокоэффективных технологий [1, 10–15].

Для возведения мансард применяют конструктивные элементы, собираемые вручную, изделия полной или частичной заводской готовности [3–5]. В России в качестве несущего каркаса мансардных этажей чаще всего используют дерево и металл, в особенности легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК).

Зарубежные технологии возведения мансардной кровли направлены на высокоэффективность, экологичность и минимизацию расходов энергетических ресурсов [6, 7]. Основными современными зарубежными технологиями яв-

ляются VELOX¹, VST, Green Board². В качестве каркаса обычно используются металлические профили, на которые в дальнейшем монтируют плиты (щепоцементные, цементно-стружечные и др.), а затем заполняют эффективным утеплителем. В России чаще всего в качестве таких плит применяют фанеру и ориентированно-стружечную плиту.

Для возведения монолитной мансардной крыши разработана модульная система (рис. 1).

¹ Несъемная опалубка VELOX. URL: <http://www.rosstro-velox.ru/> (дата обращения 02.04.2018).

² Green Board. Фибролитовые строительные и акустические плиты. URL: <http://www.greenboard.ru/> (дата обращения 02.04.2018).

Представленная система изготавливается в заводских условиях и доставляется на строительную площадку в укрупненной сборке. Основными элементами системы являются: П-образный профиль с отверстиями для теплоизоляционного материала, ребро жесткости, установленное внутри модуля, верхний оцинкованный лист с полимерным покрытием, а также нижний лист, поставляемый в комплекте, но монтируемый после сборки всей крыши. Разрез проектируемой крыши представлен на рис. 2.

Количество модулей, а также сечение профиля рассчитываются с учетом объемно-плани-

Рис. 1. Модульная система мансардной крыши: а — угловой элемент; б — прямоугольный элемент; в — сборный элемент; 1 — П-образный профиль; 2 — ребро жесткости; 3 — отверстия для теплоизоляционного материала; 4 — отверстия под болты; 5 — верхний оцинкованный лист с полимерным покрытием и пароизоляцией

Рис. 2. Разрез мансардной крыши: 1 — модуль заводской готовности; 2 — поперечная балка (двутавр); 3 — стойка (двутавр); 4 — перекрытие; 5 — отверстия для теплоизоляционного материала; 6 — отверстия под болты; 7 — нащельник

ровочных, конструктивных особенностей здания и климатических условий района строительства.

Возведение монолитной мансардной крыши из модульных систем заводской готовности начинается с установки стойки и балки. При помощи монтажного механизма и необходимой оснастки в проектное положение устанавливаются стойка и продольная балка. Модуль мансардной крыши поднимают на необходимую высоту, устанавливают и временно закрепляют (рис. 3).

На следующем этапе устанавливается модуль на противоположной стороне. Под системой устанавливаются подпорки на выдвинутой штанге для предотвращения прогиба. При помощи магнитного захвата происходит надежное удержание модуля с двух противоположных сторон, производится временное закрепление системы (рис. 4).

Когда оба модуля на одном шаге здания временно закреплены, происходит выверка элементов, затем монтаж в проектное положение.

Крепежные болты затягиваются, подпорки переставляются и осуществляется дальнейшее возведение кровли вдоль здания.

В процессе строительства организационно-технологические решения принимаются в условиях многовариантности [8]. Для наиболее рационального выбора монтажного механизма была составлена табл. 1.

В данной таблице представлены расчеты и основные значения для различных монтажных механизмов: вакуумного мультистакера, кран-манипулятора, а также кранов на автомобильном, пневмоколесном и гусеничном ходу. Исходя из полученных показателей наибольшим коэффициентом использования грузоподъемности обладает кран-манипулятор и автомобильный кран КС-35715 «Ивановец». Технология возведения монолитной мансардной крыши из модульных систем заводской готовности сравнивалась с двумя известными технологиями: мансарда, выполненная из деревянного каркаса, и мансарда, выполненная из ЛСТК. Данные для расчета

Рис. 3. Технологическая схема монтажа модуля заводской готовности: 1 — модуль заводской готовности; 2 — стойка; 3 — вакуумный захват; 4 — перекрытие; 5 — вышка-тура; 6 — бортовой автомобиль с модулями; 7 — монтажный механизм

Рис. 4. Технологическая схема монтажа модульной системы мансардной крыши на одном пролете: 1 — модуль заводской готовности; 2 — стойка; 3 — вакуумный захват; 4 — подпорки; 5 — перекрытие; 6 — вышка-тура; 7 — бортовой автомобиль с модулями; 8 — монтажный механизм

были получены при помощи ЕНиР^{3,4,5} для двухэтажного кирпичного здания с размерами в осях 13,1×15 м. Результаты расчета представлены на рис. 5.

Полученные показатели эффективности показывают, что наименьшей продолжительностью, наибольшей производительностью потока, а также наибольшей производственной мощностью обладает технология возведения мансардной крыши из модульной системы.

Все полученные показатели эффективности записываются в виде матрицы:

$$\bar{A} = \begin{matrix} & 22,9 & 7,79 & 3,5 & 4,58 \\ 24,6 & & 7,26 & 4,24 & 4,1 \\ 7,6 & 28,79 & 7,49 & 1,03 \end{matrix}$$

Оптимальный выбор варианта определяется с помощью двух известных критериев — Сэвиджа и Гурвица.

Проведем поиск оптимума по методу Сэвиджа (табл. 2). По критерию Сэвиджа определяем:

$$P_u^2 = S\uparrow = (S_u / S_u \in S_1 \cap \min \max C_{ij} \cap C_{ij} = \max u_{ij} - u_{ij})$$

$$\forall_{ij}; i = \frac{j}{1, m}; j = \frac{i}{1, n}.$$

В каждой строчке выбираем максимальное значение. Получим соответственно 21; 21,53; 18,4. Из полученных значений минимальное 18,4, относится к третьему варианту. Следовательно, лучшим вариантом по методу Сэвиджа является третий вариант.

Выбор оптимального варианта по критерию Гурвица осуществляется из условий:

$$A_u^{(3)} = S\uparrow = (S_u / S_u \in S_1 \cap \max h_i \cap h_{ij} = e \min u_{ij} + (1 - e) \max u_{ij} \cap 0 \leq e \leq 1);$$

$$\forall_{ij}; i = \frac{j}{1, m}; j = \frac{i}{1, n};$$

$$A_u^{(4)} = S\uparrow = (S_M / S_M \in S_1 \cap \max_i \max_j u_{ij});$$

$$\forall_{ij}; i = \frac{j}{1, m}; j = \frac{i}{1, n}.$$

При значении коэффициента $e = 0,5$ (e — коэффициент оптимизма) определяем:

³ ЕНиР. Сборник Е5. Монтаж металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1989.

⁴ ЕНиР. Сборник Е6. Плотничные и столярные работы в зданиях и сооружениях. М.: Стройиздат, 1989.

⁵ ЕНиР. Сборник Е7. Кровельные работы. М.: Стройиздат, 1989.

Таблица 1

Показатели сравниваемых вариантов монтажных механизмов

Показатель	Обозначение	Значение для монтажного механизма						
		CONStacker	Kanglim KS 5206	КС-35715 «Ивановец»	Liebherr LTM 1030-2,1	Sembogen HPS 35	Terex ТЗ40-1	КС-4361 «Юринец»
Тип крана	—				Автомобильный			Гусенич- ный
Мощность двигателя, кВт	N_d	250	145	167	210	75	224	Пневмо- колесный
Грузоподъемность, т: максимальная при рабочей стреле	G	45 15	1 1	16 1,32	35 6,33	35 6,1	36,3 5,65	25 5,2
Количество элементов на все здание, шт.	Σn_i	48						
Средняя масса элемента, т	m_{cp}	0,19						
Машинемкость объема работ, маш.-ч	M_o	18,55						
Средняя норма машинного времени, маш.-ч	H_{cp}	0,35						0,39
Эксплуатационная производительность крана, т/ч	Π_q	0,70						0,63
Общий объем металлических конструк- ций, м ³	V	27,4						
Затраты труда монтажников при работе с краном, чел.-ч	Q_m	115,3						
Затраты труда машинистов при работе с краном, чел.-ч	$Q_{маш}$	18,55						
Затраты труда на монтаж/демонтаж стрелы, гуська, чел.-ч	$Q_{м/д}$	—						15,4
Трудоёмкость работ на 1 м ³ металла, чел.-ч/м ³	q_e	4,4						5,45
Коэф-т использования грузоподъем- ности	K_r	0,013	0,19	0,14	0,03	0,03	0,03	0,04
								0,16

Рис. 5. График показателей эффективности различных технологий возведения мансардных крыш

Таблица 2

Результаты вычислений по методу Сэвиджа

A_i	X_1	X_2	X_3	X_4
A_1	1,7	21	3,99	0
A_2	0	21,53	3,25	0,48
A_3	18,4	0	0	3,55

$$S_1 = 0,5 \cdot 3,5 + (1 - 0,5) \cdot 22,9 = 13,2;$$

$$S_2 = 0,5 \cdot 4,1 + (1 - 0,5) \cdot 24,6 = 14,35;$$

$$S_3 = 0,5 \cdot 1,03 + (1 - 0,5) \cdot 28,79 = 14,91.$$

Максимальным из полученных значений является 14,91, соответствующее третьему варианту. Следовательно, оптимальным вариантом по критерию Гурвица является третий вариант.

Расчет по критериям показал, что самой оптимальной технологией возведения мансардной крыши является возведение из модульной системы.

В результате анализа тепловпотерь в зданиях различного назначения составлена диаграмма (рис. 6), на которой показаны основные тепловпотери, выраженные в процентах от общего расхода тепла в здании.

Из приведенных данных следует, что сохранение энергосбережения зависит от совершенствования ограждающих конструкций и повышения их теплозащитных свойств.

На рис. 7 и 8 отражены значения коэффициентов теплопроводности, а также плотности различных теплоизоляционных материалов. Также на основании проведенного анализа составлена

Рис. 6. Диаграмма трансмиссионных тепловпотерь в здании

Рис. 7. Показатели теплопроводности различных заполнителей

Рис. 8. Показатели плотности различных заполнителей

Таблица 3

Основные технические характеристики теплоизоляционных материалов

Характеристика теплоизоляционных материалов	Керамзит	Вермикулит	Отражающая теплоизоляция	Пенополиуретан	Пенополистирол	Минеральная вата	Стекловата	Пеностекло	Мипора	Целлюлозная теплоизоляция
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	0,21–0,23	0,064–0,076	0,037–0,039	0,020–0,035	0,035–0,05	0,035–0,05	0,037–0,046	0,07–0,11	0,028–0,03	0,036–0,04
Плотность, кг/м³	210–500	40–150	20–30	30–80	25–45	50–500	25–100	120–140	25–40	35–65
Паропроницаемость, мг/(м · ч · Па)	0,23	0,23–0,30	0,0011	0,05	0,05	0,38–0,60	0,55	0,03–0,2	0,2–0,3	0,3
Водопоглощение за 24 часа по объему, %	5–15	3–5	0,35–0,7	1–2	от 2	35–50	20	2,5–5	15–20	20
Стабильность размеров	Дает усадку	Дает усадку	Дает усадку	Изменяет размеры	Дает усадку	Дает усадку	Дает усадку	Не дает усадку	Дает усадку	Дает усадку
Предел прочности на сжатие, МПа	0,4–5	0,07–1	0,035	0,15–1	0,03–0,04	0,047	0,04	0,4–1,2	0,025–0,03	–
Предел прочности на изгиб, МПа	0,4–1	0,5–1	0,25	1–5	0,07–0,25	0,10–0,18	–	0,2–0,5	2–4	–
Максимальная температура кратковременного нагрева, °С	1200	1300	100	100	100	250	350	750	100	–
Группа горючести	НГ	НГ	Г1–Г4	Г2–Г3	Г3	НГ	НГ	НГ	Г2	Г1–Г2

табл. 3 с техническими характеристиками заполнителей.

Разработанная технология возведения монолитной мансардной крыши при правильном, технически обоснованном выборе теплоизоляционного материала позволяет снизить теплопотери здания и обеспечить комфортную температуру в помещении без дополнительного обогрева.

Выводы

1. Возведение монолитной мансардной кровли с использованием модулей позволяет сократить срок монтажа на строительной площадке за счет высокой степени заводской готовности системы.

2. Расчет показателей эффективности показал, что возведение монолитной мансардной крыши является самым рациональным вариантом среди наиболее распространенных технологий в России.

Библиографический список

1. Матвеев Е. П. Реконструкция жилых зданий с надстройкой этажей из объемных блоков // Жилищное строительство. 1999. № 8. С. 12–13.
2. Сычёв С. А. Технология ускоренного монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. 182 с.
3. Пат. 2631125 РФ, МПК E04B 1/348 (2006.01). Строительный модуль для строительства зданий / С. А. Сычёв. № 2016113628 (021378); заявл. 08.04.16; опубл. 19.09.17.
4. Пат. 2368747 РФ, МПК E04G 23/02 (2006.01). Способ возведения сборной крыши мансардного типа / Г. М. Бадьин, С. А. Сычёв. № 2007126882/03; заявл. 13.07.07; опубл. 27.09.09.
5. Пат. 2398943 РФ, МПК E04G 23/02 (2006.01). Способ ускоренного монтажа мансард из унифицированных сэндвич-панелей / Г. М. Бадьин, С. А. Сычёв. № 2008131743/03; заявл. 31.07.08; опубл. 10.09.10.
6. Бадьин Г. М., Сычёв С. А., Макаридзе Г. Д. Технологии строительства и реконструкции энергоэффективных зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2017. 464 с.
7. Бадьин Г. М., Сычёв С. А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
8. Сычёв С. А. Многофункциональная оптимизация в технологии высокоскоростного модульного строительства // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 4 (57). С. 99–104.
9. Сычёв С. А., Юдина А. Ф. Рассмотрение модернизации технологий полносборного строительства в

магистерской диссертации по теме «Технологии и организация строительства» // Строительство: наука и образование. 2016. № 4, статья 4.

10. Nadim W., Goulding J. S. (2010). Offsite production in the UK: The Way forward? A UK construction industry perspective *Construction Innovation: Information, Process Management*, 10(2), pp. 181–202.

11. Day A. (2011). When modern buildings are built offsite. *Building engineer*, 86(6), pp.18–19.

12. Allen E., Iano J. (2004). *Fundamentals of building construction: Materials and methods*. J. Wiley & Sons, 28 p.

13. Fudge J., Brown S. (2011). Prefabricated modular concrete construction. *Building engineer*, 86(6), pp. 20–21.

14. Staib G., Dörrhöfer A., Rosenthal M. (2008). *Components and systems: Modular construction: Design, structure, new technologies*. Institut für internationale Architektur -Dokumentation, München, 34 p.

15. Knaack U., Chung-Klatte Sh., Hasselbach R. (2012). *Prefabricated systems: Principles of construction*. De Gruyter, 67 p.

References

1. Matveev E. P. *Rekonstruktsiya zhilykh zdaniy s nadstroykoy ehtazhey iz obemnykh blokov* [Reconstruction of residential buildings with vertical extension with floors made of volume blocks]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 1999, no. 8, pp. 12–13.

2. Sychev S. A. *Tekhnologiya uskorennoy montazha mansard iz unifitsirovannykh sehndvich-paneley* [Technology of accelerated installation of attics from unified sandwich panels]. St. Petersburg, SPbGPU Publ., 2010, 182 p.

3. Sychev S. A. *Stroitel'nyy modul' dlya stroitel'stva zdaniy* [Construction module for erecting buildings]. Patent RF no. 2631125, 2017.

4. Badyin G. M., Sychev S. A. *Sposob vozvedeniya sbornoy kryshi mansardnogo tipa* [A way of constructing a combined roof of mansard type]. Patent RF no. 2368747, 2009.

5. Badyin G. M., Sychev S. A. *Sposob uskorennoy montazha mansard iz unifitsirovannykh sehndvich-paneley*

[A way of the accelerated installation of attics from unified sandwich panels]. Patent RF no. 2398943, 2010.

6. Badyin G. M., Sychev S. A., Makaridze G. D. *Tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii ehnergoehffektivnykh zdaniy* [Technologies of construction and reconstruction of energy efficient buildings]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2017, 464 p.

7. Badyin G. M., Sychev S. A. *Sovremennye tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy* [Modern technologies of construction and reconstruction of buildings]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2013, 288 p.

8. Sychev S. A. *Mnogofunktsional'naya optimizatsiya v tekhnologii vysokoskorostnogo modul'nogo stroitel'stva* [Multi-functional optimization in the technology of high-speed modular construction]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 4 (57), pp. 99–104.

9. Sychev S. A., Yudina A. F. *Rassmotrenie modernizatsii tekhnologiy polnosbornogo stroitel'stva v magisterskoy dissertatsii po teme «Tekhnologii i organizatsiya stroitel'stva»* [Consideration of upgrading the technologies of prefabrication construction in the master thesis on the subject “Technologies and construction organization”]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie – Construction: science and education*, 2016, no. 4, article 4.

10. Nadim W., Goulding J. S. Offsite production in the UK: The Way forward? A UK construction industry perspective *Construction Innovation: Information, Process Management*, 2010, no. 10(2), pp. 181–202.

11. Day A. When modern buildings are built offsite. *Building engineer*, 2011, no. 86(6), pp. 18–19.

12. Allen E., Iano J. *Fundamentals of building construction: Materials and methods*. J. Wiley & Sons, 2004, 28 p.

13. Fudge J., Brown S. Prefabricated modular concrete construction. *Building engineer*, 2011, no. 86(6), pp. 20–21.

14. Staib G., Dörrhöfer A., Rosenthal M. *Components and systems: Modular construction: Design, structure, new technologies*. Institut für internationale Architektur -Dokumentation, München, 2008, 34 p.

15. Knaack U., Chung-Klatte Sh., Hasselbach R. *Prefabricated systems: Principles of construction*. De Gruyter, 2012, 67 p.