СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

УДК 728.2

DOI: 10.22227/2305-5502.2018.1.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

А.А. Плешивцев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Предмет исследования: рассматриваются организационно-технологические решения при строительстве трансформируемых малоэтажных жилых зданий с использованием сэндвич-панелей.

Цели: рациональный выбор организационно-технологических решений ритмичного строительства подземной и надземной части трансформируемых малоэтажных зданий, с целью уменьшения трудовых затрат и сокращения сроков строительства.

Материалы и методы: использованы методы компьютерного моделирования технологических процессов для определения продолжительности строительства трансформируемых малоэтажных зданий.

Результаты: определены рациональные способы возведения комплекса трансформируемых малоэтажных зданий, установлены параметры технологических процессов, приведен анализ технологических операций при монтаже трансформируемых малоэтажных жилых зданий с использованием сэндвич-панелей.

Выводы: организационно-технологические решения строительства трансформируемых малоэтажных жилых зданий с использованием сэндвич-панелей в настоящее время позволяют снизить трудовые затраты, повысить темпы строительства, а также использование при строительстве таких зданий усовершенствованных технологических процессов приводит к сокращению сроков строительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малоэтажное домостроение, быстровозводимые здания, удельная трудоемкость монтажа, технологические параметры возведения, сборно-разборные здания, контейнерные здания, трансформируемые здания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Плешивцев А.А. Технологические особенности монтажа трансформируемых малоэтажных зданий из сэндвич-панелей // Строительство: наука и образование. 2018. Т. 8. Вып. 1 (27). Ст. 2. Режим доступа: <http://nso-journal.ru>.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF INSTALLATION OF TRANSFORMABLE LOW-RISE BUILDINGS FROM SANDWICH PANELS

A.A. Pleshivtsev

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

Subject of research: organizational and technological solutions are considered in the construction of transformable low-rise residential buildings using sandwich panels.

Aims: rational choice of organizational and technological solutions for the rhythmic construction of the underground and above-ground part of the transformable low-rise buildings in order to reduce labor costs and construction time.

Materials and methods: methods of computer modeling of the technological processes are used to determine the duration of the construction of the low-rise buildings.

Results: rational methods for erecting a complex of transformable low-rise buildings are defined, parameters of technological processes are established, an analysis of technological operations is provided for the construction of transformable low-rise residential buildings using sandwich panels.

Conclusions: now organizational and technological solutions for the construction of transformable low-rise residential buildings with the use of sandwich panels reduce labour costs, increase the construction pace and as well as the using of improved technological processes in the construction of such buildings leads to a reduction in construction time.

KEY WORDS: low-rise house building; quick-mounting buildings, labour constant of installation; technological parameters of erection; relocatable buildings; container buildings; transformable buildings

FOR CITATION: Pleshivtsev A.A. Tekhnologicheskie osobennosti montazha transformiruemykh maloetazhnykh zdaniy iz sendvich-paneley [Technological features of installation of transformable low-rise buildings from sandwich panels]. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: Science and Education]. 2018, vol. 8, issue 1 (27), paper 2. Available at: <http://nso-journal.ru>. (In Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Применение современных технологий строительства малоэтажных зданий различного функционального назначения позволяет снизить трудоемкость и стоимость строительства, а также повысить степень механизации технологических процессов.

Одним из перспективных направлений в применении современных технологий строительства малоэтажных зданий является использование трансформируемых зданий. Трансформируемость здания обеспечивается за счет комбинаций архитектурно-конструктивных решений.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Направления современного развития малоэтажного строительства жилых зданий и проблемы внедрения новых технологий в практику такого отражены в исследованиях [1–7].

Направления развития малоэтажного строительства в зарубежных исследованиях, а также разработки в строительстве быстровозводимых зданий затрагивают дома для военнослужащих на время проведения военных операций; временные жилые здания для рабочих на стройплощадках и на случай ликвидации техногенных катастроф; жилые здания экономического класса.

В Великобритании, США и Канаде технологии строительства быстровозводимых зданий представлены различными конструктивно-технологическими системами: каркасно-панельными, панельными, контейнерными, тентовыми и пнев-

матическими [8–13]. Самыми распространенными являются каркасно-панельные дома (до 95 %), так как они наименее затратны. Модульные жилые здания составляют от общей части возводимых зданий от 3 до 22 % [12, 14]. Быстровозводимое жилье характерно для стран, где имеется значительный прирост населения ежегодно: в Германии — до 42 % и США — до 14 %.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящем исследовании использованы методы компьютерного моделирования технологических процессов для определения продолжительности строительства трансформируемых малоэтажных зданий (ТМЗ).

Основные принципы организационно-технологического моделирования технологических решений возведения ТМЗ используются в практике современного строительства [15–17]. Организация строительства ТМЗ является рациональной на предприятиях с действующими линиями по производству сэндвич-панелей. Проблемы организации строительства быстровозводимых малоэтажных зданий мобильными формированиями достаточно изучены [18, 19]. Одним из направлений развития стройиндустрии является переоснащение малорентабельных действующих деревообрабатывающих предприятий. Реконструкция таких предприятий может быть ориентирована на выпуск комплектов полносборных ТМЗ [20]. С учетом дооснащения этих предприятий линиями по производству сэндвич-панелей и участком сборки ТМЗ разработана

Рис. 1. Схема технологического процесса изготовления ТМЗ на заводе по выпуску сэндвич-панелей: 1 — сушильные камеры; 2 — формование сушильных штабелей; 3 — выдержка пиломатериалов; 4 — сортировка и раскрой пиломатериалов; 5 — сращивание заготовок по длине; 6 — выдержка пакетов ТМЗ; 7 — нанесение клея; 8 — формование клеевого пакета; 9 — механический пресс; 10 — передвижная заготовка; 11 — гидравлические прессы; 12 — рейсмусовый станок с поворотным устройством; 13 — комбинированный пильный станок; 14 — заготовка деталей для сэндвич-панелей; 15 — сращивание заготовок по ширине; 16 — антисептирование деталей; 17 — формование рам панелей; 18 — стыкование деталей и закладных элементов; 19 — сращивание заготовок по ширине и длине согласно проектным размерам; 20 — окраска панелей; 21 — линия сэндвич-панелей; 22 — сборный узел ТМЗ; 23 — склад готовой продукции

схема технологического процесса изготовления ТМЗ на заводе по выпуску сэндвич-панелей (рис. 1).

Последовательность выполнения технологических процессов для быстровозводимого малоэтажного жилого здания из сэндвич-панелей включает следующие виды работ:

- подготовительные — завоз материалов, подготовка рабочего места, формирование мероприятий операционного контроля;
- заготовительные — очистка, настройка оборудования, заправка сырья, раскладка рам, раскладка закладных деталей панелей;
- основные технологические процессы — прокат стального листа, нарезка и укладка панелей, операционный контроль; нанесение клея, пресс, торцевание, операционный контроль; прием готовой продукции, упаковка, операционный контроль;
- сборка ТМЗ — раскладка панелей, монтаж шарнирных узлов, пакетирование, отправка пакетов ТМЗ на экспериментальную площадку и операционный контроль.

Эта технологическая последовательность позволяет повысить инвестиционную привлекательность предприятий и снизить трудозатраты за счет сокращения объема строительства и использования высокотехнологичного оборудования [21].

Возведение ТМЗ происходит по модульному принципу, т.е. элементы здания стыкуются друг с другом. Требования к процессам возведения с использованием модульных конструкций основано на том, что здание должно быть выполнено из сборных композитных сэндвич-панелей, между которыми можно вставить материал, предназначенный для обеспечения звукоизоляции, термической стойкости и огнестойкости. Основание ТМЗ находится либо на расстоянии, либо на расстоянии от свободных краев сторон прямоугольника, образованного каждой внешней пластиной, собранные в «модули» (пакеты ТМЗ), вертикальные перегородки которых являются самонесущими. При этом все панели идентичны по своему внутреннему принципу общего строительства независимо от того, предназначены ли они для горизонтально или вертикальной установки. Модуль включает в себя: горизонтальную перегородку, пол, содержащий внешнюю рамку, на которой закреплены идентичные композитные панели, и взаимоблокирующие соединительные элементы; вертикальные перегородки, каждая из которых состоит из нескольких одинаковых панелей и специальных панелей, обрамляющих отверстия, такие как двери или окна той же общей структуры, что и панели, составляющие полы, и способные вставляться в элементы вышеупомянутой сборки; элемент крыши из композитных панелей той же общей конструкции, что и панели, составляющие полы; сборные элементы между различными композитными панелями и устройства сборки между вертикальными перегородками и элементами крыши. Рациональный

выбор конструктивно-технологических решений позволяет организовать ритмичное возведение комплекса ТМЗ, с использованием традиционных технологий и методов строительства. При этом следует учитывать основные принципы и положения норм в области организации строительства и иных действующих нормативно-правовых документов¹.

Монтаж элементов здания выполняется автомобильным краном «с колес», с боковой подачей автомашин-трейлеров (рис. 2).

Вначале выполняют следующие работы:

- вертикальная планировка строительной площадки;
- установка временного забора;
- установка дорожных плит;
- подготовка комплекта монтажной оснастки, инвентаря и необходимых средств подмащивания, обозначение границ опасной зоны;
- проверка качества поступающих строительных материалов и конструкций;
- выполнение работ нулевого цикла.

Технологическая последовательность монтажа и установки ТМЗ состоит в следующем:

- подать автомашину с ТМЗ под разгрузку в зону действия крана;
- установить две площадки монтажника, закрепить две расчалки и произвести строповку и осторожно приподнять пакет ТМЗ;
- установить ТМЗ в проектное положение;
- произвести расстроповку пакетов ТМЗ для второго яруса.

Процесс установки ТМЗ представлен на рис. 3. Разгрузку с транспорта и установку ТМЗ в проектное положение следует производить одним звеном, состоящим из пяти рабочих:

- машинист крана 6-го разряда. — 1 чел.;
- монтажник 5-го разряда — 1 чел.;
- монтажник 4-го разряда — 1 чел.;
- монтажник 3-го разряда — 1 чел.;
- монтажник 2-го разряда — 1 чел.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе данных хронометражных измерений разработан почасовой график строительства ТМЗ из сэндвич-панелей. Данный график определяет распределение рабочего времени монтажников и монтажного крана при установке отдельных элементов ТМЗ (табл.).

При распределении рабочего времени учитывается возможность сохранения посменного режима работ с обеденными перерывами, при этом установка монтажного элемента ТМЗ должна быть за-

¹ СП 48.13330-2011. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004.

СП 30-102-99. Планировка и застройка территорий малоэтажного жилищного строительства.

ФЦП: Программа «Жилище» на 2011–2015 годы.

Рис. 2. Схемы погрузки и разгрузки ТМЗ: *a* — план монтажа ТМЗ; *б* — разгрузка одного пакета

Рис. 3. Возведение комплекса ТМЗ

Шаблон почасового графика монтажа ТМЗ

Наименование работ	Продолжительность, ч	Начало работы	Окончание работы	Число рабочих	Часы								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9
Подготовка к монтажу ТМЗ	1,26	8:00	8:32	4	■								
Установка пакетов ТМЗ на ростверк фундамента	0,54	8:33	9:48	4	■	■							
Выверка и расстроповка пакетов ТМЗ	0,35	9:49	10:10	2		■							
Протягивание стержня-штыря конькового узла	0,30	10:11	10:29	2			■						
Строповка конькового узла, подъем краном	0,21	10:30	10:49	1			■						
Фиксация раскрытых элементов ТМЗ	0,20	10:50	11:02	1			■						
Выверка и расстроповка конькового узла	2,33	11:03	11:15	2			■						
Герметизация стыков панелей ТМЗ		11:16	12:50	2				■	■	■			
Перерыв на обед													
Подвеска каната с талрепом к продольным стеновым панелям	0,19	13:36	13:55	4					■	■			
Стягивание продольных стеновых панелей	0,41	13:56	14:27	4						■			
Установка стеновых угловых элементов	2,52	14:28	17:20	4							■	■	■

кончена в пределах времени работы одной смены. Данные требования необходимо соблюдать, принимая для отдельных технологических процессов различные проценты перевыполнения производственных норм. Технологические процессы и операции при строительстве ТМЗ могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся механизированные процессы и операции с обязательным участием монтажного строительного крана, при этом участие крана может быть либо активное, при подаче пакета ТМЗ к месту установки, либо пассивное — поддержание элемента ТМЗ с соблюдением техники безопасности в период его выверки и т.д. Ко второй группе относятся ручные процессы, когда монтажный строительный кран не требуется, к примеру, при укладке герметика в стыковые соединения панелей. Время начала и время окончания установки ТМЗ зависят от сроков выполнения технологических процессов (первая группа). Поэтому в почасовом графике отмечаются те процессы, которые выполняют монтажным краном при его использовании, а затем процессы, отнесенные ко второй группе технологических процессов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, усовершенствование сборных конструктивных систем в виде модульной системы зданий, позволяет снизить трудоемкость установки более чем в три раза за счет создания элементов объемного блока. Модульные здания являются передвижными и разборными для отдельных элементов. Это преимущество позволяет разделить здание на отдельные элементы (контейнеры), и доставить их до сборного модульного здания со всеми инженерными системами. Благодаря транспортной упаковке элементов возможна также значительная экономия при доставке (в 3–4 раза), к примеру, для отдаленных районов, в этом случае узел сборки собирает блок-контейнеры и соединяет их друг с другом в модульном здании.

Основными преимуществами складных сборных зданий по сравнению со складными и контейнерными являются повышенная степень готовности завода и увеличение полезного объема в 1,5–3 раза, компактные габаритные размеры для транспортировки, легкий конструктивный вес и сокращение времени использования крана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов И.Л.* Моделирование технологических процессов строительства малоэтажных жилых зданий // *Жилищное строительство*. 2007. № 5. С. 1–3.
2. *Андросов А.Н.* Особенности современного развития малоэтажного жилищного строительства России // *Недвижимость: экономика, управление*. 2011. № 2. С. 44–49.
3. *Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Пасяда Н.И., Денисова И.В.* Теория и практика малоэтажного жилищного строительства в России / под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула. СПб. : Гуманистика, 2005. 563 с.
4. *Вержбовский Г.Б.* Быстровозводимые малоэтажные здания из композитных материалов // *Инженерный вестник Дона*. 2015. Т. 37. № 3. С. 87.
5. *Воронина Н.В., Дородных Е.В.* Развитие малоэтажного строительства в Хабаровском крае на основе новых технологий // *Ученые заметки ТОГУ*. 2014. Т. 5. № 4. С. 565–571.
6. *Голубев К.В., Федотов К.А.* Проблемы использования новых технологий малоэтажного домостроения // *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2013. № 3 (11). С. 23–30.
7. *Гуртов С.С.* Малоэтажное жилье — эффективная составляющая социально-экономической стратегии в процессе выхода страны из кризиса // *Уровень жизни населения регионов России*. 2010. № 10. С. 35–53.
8. *Ивакин Е.К., Вагин А.В.* Классификация объектов малоэтажного строительства. *Инженерный вестник Дона*. 2012. Т. 21. № 3. С. 555–560.
9. *Игтисамов Р.С.* К вопросу о типизации объектов малоэтажной застройки и направлениях развития строительства малоэтажных жилых зданий // *Известия КазГАСУ*. 2009. № 1 (11). С. 313–317.
10. *Doling J., Elsinga E.* Home ownership. Getting in, getting from, getting out. Part II. Housing and Urban Policy Studies. Delft, Delft University Press 2006. 246 p.
11. *Single family detached house* // *Encyclopedia of Urban America* / Neil L.S. ed. 1995. Pp. 701–704.
12. *Lawson R.M., Richards J.* Modular design for high-rise buildings // *Proceedings of the ICE Structures and Buildings*. 2010. No. 163 (3). Pp. 151–164.
13. *Nadim W., Goulding J.S.* Offsite production in the UK: The Way forward? A UK construction industry perspective // *Management*. 2010. No. 10 (2). Pp. 181–202.
14. *Fudge J., Brown S.* Prefabricated modular concrete construction // *Building Engineer*. 2011. No. 86 (6). Pp. 20–21.
15. *Король Е.А., Комиссаров С.В., Каган П.Б., Арутюнов С.Г.* Решение задач организационно-технологического моделирования строительных процессов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 3. С. 43–45.
16. *Король Е.А., Плешивцев А.А.* Исследования технологических операций методом хронометража при возведении трансформируемых малоэтажных зданий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 4. С. 60–65.
17. *Никольский М.С.* Моделирование рациональных технологических решений возведения коттеджей на основе сэндвич-панелей // сб. докладов 67-й науч. конф. проф., преп., науч. работников, инженеров и аспирантов ун-та, СПбГАСУ. СПб, 2010. С. 229–233.
18. *Олейник П.П., Ширишиков Б.Ф.* Организация строительства объектов мобильными формированиями. Саратов, 2013. 422 с.
19. *Семенов В.С., Греховодов А.М., Кондрашов А.В.* Быстровозводимые малоэтажные здания из легких стальных тонкостенных конструкций // *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета*. 2008. Т. 8. № 9. с. 154–158.
20. *Субботин О.С.* Классификация малоэтажных жилых зданий и хозяйственных построек, мероприятия по защите территорий от чрезвычайных ситуаций // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2007. № 7. С. 179–181.
21. *Сычев С.А.* Исследование изменения трудозатрат монтажа скоростного объемно-модульного строительства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 11. С. 67–70.

Поступила в редакцию 9 сентября 2017 г.

Принята в доработанном виде 11 ноября 2017 г.

Одобрена для публикации 25 декабря 2017 г.

ОБ АВТОРЕ: **Плешивцев Александр Александрович** — кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; perspectiva-aa@mail.ru.

INTRODUCTION

The use of modern technologies for the construction of low-rise buildings of various functional purposes can reduce labor intensity and construction cost, as well as increase the degree of mechanization of technological processes.

One of the perspective areas in the application of the modern technologies for building low-rise buildings is the use of transformable buildings. The transformability of the building is provided by combinations of architectural and constructive solutions

LITERATURE REVIEW

Directions for modern development of low-rise construction of residential buildings and problems of introducing new technologies into the practice are reflected in the studies [1–7].

Directions for development of low-rise construction in foreign researches, as well as developments in the construction of quick-mounting buildings affect homes for military personnel during military operations; temporary residential buildings for workers on construction sites and in the event of the elimination of man-made disasters; residential buildings of an economic class.

In the UK, the US and Canada, building technologies for quick-mounting buildings are represented by various structural and technological systems: frame-panel, panel, container, awning and pneumatic [8–13]. The most common are frame-panel houses (up to 95 %), since they are cost-effective. Modular residential buildings make up from 3 to 22 % of the total part of the erected buildings [12, 14]. Quick-mounting hous-

ing is typical for countries where there is a significant increase in population annually: in Germany — up to 42 % and the USA — up to 14 %.

MATERIAL AND METHODS

In this study, we used methods of computer modeling of the technological processes to determine the duration of the construction of the transformable low-rise buildings (TMZ).

The basic principles of organizational and technological modeling of technological solutions for erecting transformable low-rise buildings are used in the practice of modern construction [15–17].

The organization of the TMZ construction is rational at enterprises with operating production lines for sandwich panels. The problems of organizing the construction of quick-mounting low-rise buildings by mobile formations have been sufficiently studied [18, 19]. One of the development directions of the

construction industry is a re-equipment of operating unprofitable woodworking enterprises. Reconstruction of such enterprises can be focused on the production of TMZ prefabricated sets [20].

Taking into account the additional equipment of these enterprises by production lines for the sandwich panels and the TMZ assembly site the scheme of the technological process of the TMZ at the sandwich panel production factory was developed (Figure 1).

Technological processes sequence for quick-mounting low-rise residential buildings from sandwich panels includes the following types of work:

- preparatory works — delivery materials, preparing the workplace, formation of the operating controls activities;

Figure 1. The scheme of the technological process of manufacturing of TMZ at the sandwich panels production factory: 1 — drying chambers; 2 — drying stacks formation; 3 — sawn timber seasoning; 4 — sorting and cutting of sawn timber; 5 — blanks jointing along the length; 6 — TMZ package ageing; 7 — application of adhesive; 8 — gluing package formation; 9 — mechanical press; 10 — movable blank; 11 — hydrostatic press; 12 — thickness planer with rotating device; 13 — multi-unit sawing machine; 14 — parts blank for sandwich panels; 15 — blanks jointing along width; 16 — parts preservative treatment; 17 — panel frames formation; 18 — splicing parts and embedded parts; 19 — blanks jointing along the width and the length according to the design dimensions; 20 — panels coloring; 21 — sandwich panel line; 22 — TMZ assembly; 23 — finished product storage

- procuring works — cleaning, equipment setting, filling of raw materials, layout of frames, layout of embedded parts of panels;
- main technological processes — rolling of steel sheet, cutting and laying of the panels, operational control; application of glue, press, cross-cutting, operational control; acceptance of finished products, packaging, operational control;
- TMZ assembly — layout of panels, assembly of pin joint, packaging, sending TMZ packages to the experimental site and operational control.

This technological sequence makes it possible to increase investment prospects of the enterprises and reduce labour costs by cutting the construction volume and using of high-tech equipment [21].

The TMZ erection is carried out on the basis of modularity, i. e. the building elements are joined to each other. The requirements for the erection processes using modular structures are based on the fact that the building should be made of prefabricated composite sandwich panels, between which a material can be inserted to provide sound elimination, thermal resistance and fire resistance. The TMZ foundation is either at a distance or at a distance from free edges of the rectangle sides formed by each outer plate, assembled into “modules” (TMZ packages), whose vertical partitions are self-supporting. In addition all panels are identical in their internal principle of the general construction regardless of whether they are designed for horizontal or vertical installation. The module includes: a horizontal partition, a floor containing an outer frame on which identical composite panels are fixed and interlocking connecting units; vertical partitions, each of which consists of several identical panels and special panels framing openings, such as doors or windows of the same general structure as the panels making up the floors, and the above assembly capable of being inserted into the units; a roof unit made of composite panels of the same general construction as the panels making up the floors; prefabricated units between different composite panels and assembly devices between vertical partitions and roof units. The rational choice of the constructive and technological solutions makes it possible to organize rhythmic TMZ complex erection using traditional technologies and methods of the construction. However, it is necessary to take into account the basic principles and provisions of the rules in the area of construction and other existing legal documents².

The installation the building components is performed by the automobile crane “from wheels” with lateral feed of cars trailers (Figure 2).

In the beginning the following works are performed:

² Regulations 48.13330-2011. Organization of construction. Revised edition of the Building code 12-01-2004.

Regulations 30-102-99. Planning and development of low-rise housing construction.

FTP: The program “Housing” for 2011–2015.

- vertical planning of the construction site;
- hoarding installation;
- installation of road plates;
- preparation of assembly tooling set, inventory and necessary means of access, marking the boundaries of the danger zone;
- quality inspection of incoming construction materials and structures;
- preparatory works.

The technological sequence of TMZ assembly and installation is as follows:

- take a vehicle with the TMZ for unloading in the operation area of the crane;
- install two installer sites, secure two braces and make slinging and gently lift the TMZ package;
- install of TMZ in a specified position;
- removal of slings of TMZ packages for the second tier.

The TMZ installation process is shown in Figure 3. Unloading from the vehicle and installation of the TMZ in the specified position should be carried out by one link consisting of five workers:

- crane operator (grade 6) — 1 person;
- installer (grade 5) — 1 person;
- installer (grade 5) — 1 person;
- installer (grade 4) — 1 person;
- installer (grade 3) — 1 person;
- installer (grade 2) — 1 person;

RESEARCH FINDINGS

On the basis of the time measurements, an hourly schedule was developed for the construction of transformable low-rise buildings from sandwich panels. This schedule determines the distribution of the working time of installers and the installation crane when installing individual components of the TMZ (Table).

In the distribution of working hours, it is taken into account the possibility of saving the shift mode of work with lunch breaks, and the installation of the TMZ mounting component should be completed within the time of one shift operation. These requirements must be respected, taking different percentages of over-fulfillment of labour standards for single technological processes. Technological processes and operations in the TMZ construction can be divided into two groups. The first group includes mechanized processes and operations with the obligatory participation of a construction crane, and the participation of the crane can be either active, when the TMZ package is delivered to the installation site, or passive - the maintenance of the TMZ components with observance of safety measures during its aligning, etc. The second group includes manual processes when an erection construction crane is not required, for example, when laying sealant in the butt joints of panels. The start time and the end time of the TMZ installation depends on the timing of the technological process (first group). Therefore, the hourly

Figure 2. Schemes of loading and unloading of TMZ: a — TMZ installation plan; b — unloading of one package

Figure 3. TMZ complex erection

Pattern of the hourly schedule of the TMZ installation

Name of the works	Duration, hour	Beginning of the work	End of work	Number of workers	Hours								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pre-erection works for TMZ	1,26	8:00	8:32	4	■								
Install TMZ packages on the foundation framework	0,54	8:33	9:48	4	■	■							
Aligning and removal of slings of the TMZ packages	0,35	9:49	10:10	2		■							
Pulling of the bar-probe of the ridge node	0,30	10:11	10:29	2			■						
Slings of the ridge node, lifting by crane	0,21	10:30	10:49	1			■						
Fixing of the disclosed components of the TMZ	0,20	10:50	11:02	1			■						
Aligning and removal of slings of the ridge node	2,33	11:03	11:15	2			■						
Sealing joints of panels TMZ		11:16	12:50	2				■	■	■			
Meal time													
Pendant rope with a lanyard to longitudinal wall panels	0,19	13:36	13:55	4					■	■			
Contracting of the longitudinal wall panels	0,41	13:56	14:27	4						■			
Installation of the wall corner components	2,52	14:28	17:20	4							■	■	■

schedule shows the processes that are carried out by the erection crane when it is used, and then the processes belonging to the second group of technological processes.

CONCLUSIONS

Thus, the upgrading of prefabricated structural systems in the form of a modular building system enables to reduce the complexity of the installation more than three times by creating components of a volume block. Modular buildings are mobile and collapsible for separate components. This advantage allows dividing the building into separate components (containers)

and delivers them to a prefabricated modular building with all engineering systems. Thanks to the transport packaging of the components, considerable savings on delivery (3–4 times) are also possible, for example, for remote areas; in this case the assembly unit collects block containers and connects them to each other in a modular building.

The main advantages of folding prefabricated buildings in comparison with folding and container are the increased degree of the plant readiness and an increase in effective volume of 1.5–3 times, compact overall dimensions for transportation, lightweight structural weight and a reduction in the time of using of the crane.

REFERENCES

1. Abramov I.L. Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov stroitel'stva maloetazhnykh zhilykh zdaniy [Modeling of technological processes of construction of low-rise residential buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2007, no. 5, pp. 1–3. (In Russian)
2. Androsov A.N. Osobennosti sovremennogo razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva Rossii [Features of modern development of low-rise housing construction in Russia]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie* [Real estate: economics, management]. 2011, no. 2, pp. 44–49. (In Russian)
3. Asaul A.N., Kazakov Yu.N., Pasyada N.I., Denisova I.V. *Teoriya i praktika maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii* [Theory and practice of low-rise housing construction in Russia]. Saint-Petersburg, Gumanistika Publ., 2005. 563 p. (In Russian)
4. Verzhbovskiy G.B. Bystrovozvodimye maloetazhnye zdaniya iz kompozitnykh materialov [Prefabricated low-rise buildings of composite materials]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2015, vol. 37, no. 3, pp. 87. (In Russian)
5. Voronina N.V., Dorodnykh E.V. Razvitie maloetazhnogo stroitel'stva v Khabarovskom krae na osnove novykh tekhnologiy [Development of low-rise construction in the Khabarovsk krai on the basis of new technologies]. *Uchenye zametki TOGU* [Scientific notes of the Pacific State University.]. 2014, vol. 5, no. 4, pp. 565–571. (In Russian)

6. Golubev K.V., Fedotov K.A. Problemy ispol'zovaniya novykh tekhnologiy maloetazhnogo domostroeniya [Problems of using new technologies in low-rise housing construction]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics]. 2013, no. 3 (11), pp. 23–30. (In Russian)
7. Gurtov S.S. Maloetazhnoe zhil'e — effektivnaya sostavlyayushchaya sotsial'no-ekonomicheskoy strategii v protsesse vykhoda strany iz krizisa [Low-rise housing is an effective component of the socio-economic strategy in the process of the country's exit from the crisis]. *Uroven' zhizni naseleniya regionov Rossii* [Living standards of the population of the Russian regions]. 2010, no. 10, pp. 35–53. (In Russian)
8. Ivakin E.K., Vagin A.V. Klassifikatsiya ob'ektov maloetazhnogo stroitel'stva [Classification of low-rise buildings.]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2012, vol. 21, no. 3, pp. 555–560. (In Russian)
9. Igtisamov R.S. K voprosu o tipizatsii ob'ektov maloetazhnoy zastroyki i napravleniyakh razvitiya stroitel'stva maloetazhnykh zhilykh zdaniy [To question on typology of low-rise objects construction and on perspectives of development of low-rise buildings construction]. *Izvestiya KazGASU* [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering]. 2009, no. 1 (11), pp. 313–317. (In Russian)
10. Doling J., Elsinga E. *Home ownership. Getting in, getting from, getting out. Part II. Housing and Urban Policy Studies*. Delft, Delft University Press 2006. 246 p.
11. Single family detached house. *Encyclopedia of Urban America* / ed. Neil L. S., 1995. Pp. 701–704.
12. Lawson R. M., Richards J. Modular design for high-rise buildings. *Proceedings of the ICE Structures and Buildings*. 2010, no. 163 (3), pp. 151–164.
13. Nadim W., Goulding J.S. Offsite production in the UK: The Way forward? A UK construction industry perspective. *Management*. 2010, 10 (2), pp. 181–202.
14. Fudge J., Brown S. Prefabricated modular concrete construction. *Building engineer*. 2011, no. 86 (6), pp. 20–21.
15. Korol' E.A., Komissarov S.V., Kagan P.B., Arutyunov S.G. Reshenie zadach organizatsionno-tekhnologicheskogo modelirovaniya stroitel'nykh protsessov [Solving the problems of organizational and technological modeling of construction processes]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2011, no. 3, pp. 43–45. (In Russian)
16. Korol' E.A., Pleshivtsev A.A. Issledovaniya tekhnologicheskikh operatsiy metodom khronometrazha pri vozvedenii transformiruemykh maloetazhnykh zdaniy [Investigations of technological operations by the method of timekeeping in the construction of transformable low-rise buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2017, no. 4, pp. 60–65. (In Russian)
17. Nikol'skiy M.S. Modelirovanie ratsional'nykh tekhnologicheskikh resheniy vozvedeniya kottedzhey na osnove sendvich-paneley [Modeling of rational technological solutions for erecting cottages on the basis of sandwich panels]. *Sb. dokladov 67-y nauch. konf. prof., prep., nauch. rabotnikov, inzhenerov i aspirantov un-ta., SPbGASU* [Collected reports of the 67th scientific Conference of professors, lecturers, researchers, engineers and postgraduates, SPbGASU]. Saint-Petersburg, 2010. Pp. 229–233. (In Russian)
18. Oleynik P.P., Shirshikov B.F. *Organizatsiya stroitel'stva ob'ektov mobil'nykh formirovaniyami* [Organization of construction of facilities by mobile formations]. Saratov, 2013. 422 p. (In Russian)
19. Semenov V.S., Grekhovodov A.M., Kondrashov A.V. Bystrovozvodimye maloetazhnye zdaniya iz legkikh stal'nykh tonkostennykh konstruksiy [Prefabricated low-rise buildings of light steel thin-walled constructions]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta* [Bulletin of the Kyrgyzstan-Russia Slavic University]. 2008, vol. 8, no. 9, pp. 154–158. (In Russian)
20. Subbotin O.S. Klassifikatsiya maloetazhnykh zhilykh zdaniy i khozyaystvennykh postroek, mero-priyatiya po zashchite territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy [Classification of low-rise residential buildings and outbuildings, measures to protect territories from emergencies]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]. 2007, no. 7, pp. 179–181. (In Russian)
21. Sychev S.A. Issledovanie izmeneniya trudo-zatrat montazha skorostnogo ob'emno-modul'nogo stroitel'stva [Investigation of the change in the labor costs of the installation of high-speed volumetric modular construction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2015, no. 11, pp. 67–70. (In Russian)

Received September 9, 2017

Adopted in revised form November 11, 2017.

Approved for publication on December 25, 2017.

ABOUT THE AUTHOR: **Pleshivtsev Aleksandr Aleksandrovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Housing and Utility Complex, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337; Russian Federation; perspectiva-aa@mail.ru.