УДК 624.05

© С. А. Сычев, канд. техн. наук, доцент, докторант

© А. Ф. Юдина, д-р техн. наук, профессор

© Ю. Н. Казаков, д-р техн. наук, профессор

© Д. С. Шевцов, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: sasychev@ya.ru, 79213751697@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-163-177

© S. A. Sychev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor,
Doctorate degree seeker

© A. F. Yudina, Dr. Sci. Tech., Professor

© Yu. N. Kazakov, Dr. Sci. Tech., Professor

© D. S. Shevtsov, undergraduate

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: sasychev@ya.ru, 79213751697@mail.ru

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ МОНТАЖ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ИЗ МОДУЛЬНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОЙ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ

ROBOTIC INSTALLATION OF FAST ERECTABLE HIGH-RISE BUILDINGS FROM MODULAR TRANSFORMING CONSTRUCTION SYSTEMS OF A HIGH LEVEL OF PRE-FABRICATION

Рассмотрен автоматизированный способ монтажа здания из модульных систем, обеспечивающий высокую скорость монтажа. Главная особенность такого способа — взамен многочисленных строительных машин применяется строительно-монтажный робот и трансформируемые конструкции — объемные модули. Путем использования строительного робота достигается автоматизация строительного процесса. В транспортном положении трансформируемые элементы модуля сложены, а во время монтажа колонны и стеновое ограждение раскладываются при помощи петель. Общая энергоэффективность здания достигается путем применения солнечных батарей, расположенных в простенках.

Ключевые слова: быстрый монтаж, трансформируемые конструкции, объемный блок, модульное строительство, унифицированная конструкция, повышенная заводская сборка.

The paper deals with the automated method of the building installation from modular systems providing a high-speed construction. The main feature of the installation is that instead of many building machines there is used a construction robot and transforming constructions (volumetric units). By using the construction robot, construction process is automated. In transport position, transforming elements of the module are folded, and during the installation, columns and walls are unfolded using hinges. The total energy-efficiency of the building is achieved by using solar batteries placed on the walls.

Keywords: fast installation, transforming constructions, volumetric unit, modular building, unified structure, increased level of prefabrication.

В данной работе подробно рассматривается метод скоростного роботизированного возведения многофункциональных зданий из трансформируемых высокотехнологичных строительных систем заводской сборки [2–6, 24]. Преимущество этого метода заключается в точности монтажа, устранении трудоемких процессов, воз-

можности трансформации конструкции с увеличением объема в 2–3 раза, простоте монтажа без кранового оборудования, экономии материалов, что в целом ведет к снижению затрат. Актуальность рассматриваемых вопросов подчеркивается наличием существенных недостатков классических видов монтажа зданий из модулей, таких

как: продолжительные сроки возведения из-за промежуточных операций, значительный вес конструкций, невозможность быстрой разборки элементов при необходимости, проблемы, связанные с вертикальной транспортировкой [1].

Роботизированный монтаж на сегодняшний день пока не получил широкого распространения. Как прогнозируют эксперты, скоро место обычных строительных машин займет дистанционно управляемая и роботизированная техника.

Ярким примером применения строительных роботов могут послужить здания из трансформируемых строительных систем повышенной заводской готовности, возводимые при помощи автоматизированных мачтовых подъемников. Планировка таких зданий позволяет строительному роботу осуществить монтаж модулей перекрытий без помощи дополнительных машин и рабочих.

Авторами была предпринята попытка усовершенствования трансформируемой системы [19, 20] для создания нового типа монтажа трансформируемых модулей без использования тяжелого кранового оборудования и ручного труда.

В отличие от ближайшего аналога [12, 16] блоки снабжены трансформируемыми элементами — колоннами, стеновым ограждением и простенками с установленными на них в заводских условиях солнечными батареями.

Модуль перекрытия — стандартизированная единица строительной системы, позволяющая обеспечить требуемую скорость монтажа и свободу строительного объема готового здания. В рассматриваемом здании реализован принцип автоматизированного монтажа.

Мачтовые монтажные роботы устанавливаются на месте возведения объекта до начала непосредственного процесса строительства [13].

Роботы размещаются в ядрах жесткости и крепятся к ним в уровне каждого этажа тяжами. Мачты подъемников собираются из отдельных секций высотой в этаж. Подъемники имеют возможность самонаращивания путем установки каждой новой секции поверх предыдущей. На неподвижные мачты устанавливают универсальные передвижные тележки, перемещаемые по вертикали. На тележки навешиваются телескопические грузоподъемные площадки с воз-

можностью поворота на 90° в горизонтальной плоскости. На площадки крепятся манипуляторы — жесткие траверсы на период монтажа или пассажирские лифтовые кабины на период эксплуатации здания. Вертикальное перемещение тележек по мачте осуществляется по зубчатой рейке при помощи электродвигателя. Телескопическое выдвижение площадки — электрический сервопривод, позволяющий точно управлять параметрами движения. Все движения тележки и манипулятора управляются при помощи программного обеспечения ЭВМ. На этапе строительства здания подъемники снабжаются грузозахватными манипуляторами, позволяющими монтировать объемные блоки здания и доставлять грузы на монтажный горизонт. В результате непрерывной подачи модулей и элементов в зону монтажа процесс из циклического превращается в конвейерный (рис. 1).

Фундамент здания выполняется обычным способом. Все здание разбивают на захватки как в случае классического монтажа. На подготовительном этапе строительства производится тщательная выверка уровня на первом этаже здания и установка отметок при помощи роботизированного тахеометра. На этом этапе очень важно тщательно вывести все отметки на один уровень, так как малейшая неточность на первом этаже может повлиять на весь монтаж в дальнейшем. На последующие этажи передаются только основные отметки отклонений, заносимые в электронную базу данных для автоматической коррекции движений (действий) робота. Так как блоки изготавливаются на заводе с крайне малыми допусками по отклонениям, при точном автоматизированном монтаже такие корректировки практически не требуются.

Для бесперебойной подачи готовых конструкций на объект авторами разработана схема движения на строительной площадке. Объемные блоки заводского изготовления доставляются на строительную площадку трейлерами по два от правочных комплекта блоков на одном грузовике. В зоне разгрузки одновременно находятся два трейлера. После разгрузки оба пустых трейлера поочередно покидают разгрузочную зону для поступления последующих машин. Режим движения автоматизирован для исключения конфликтов разъезда транспортных средств (рис. 2).

Рис. 1. Роботизированный подъемник с телескопической площадкой: 1 — мачтовый монтажный робот; 2 — секция мачты; 3 — передвижная тележка; 4 — телескопическая грузоподъемная площадка; 5 — манипулятор — траверса; 6 — горизонтальный модуль

Планировка и конструктивная схема первого этажа несколько отличается от типовых этажей.

Для доставки модулей на первом этаже организованы сквозные проезды через ядра жесткости высотой 6600 мм с пониженным полом.

Монтаж нетипового первого этажа осуществляется следующим образом: в первую очередь производится монтаж опорной секции мачтового стрелового подъемника в заглубленной части фундамента будущего ядра жесткости. Монтаж

Рис. 2. Монтажный план. Схема движения транспортных средств на площадке

первой секции производится при помощи автомобильных стреловых кранов. На нее сразу навешивается передвижная тележка. Далее на смонтированную тележку навешивается телескопическая выдвижная платформа. Производится подъем тележки по мачте при помощи лебедки для удобства навешивания грузозахватного приспособления — жесткой траверсы. Далее монтируется типовая секция подъемника, подводятся электрические кабели, необходимые для функционирования подъемника. Готовый к работе смонтированный подъемник обстраивается стеновыми панелями ядра жесткости. Со стороны телескопических платформ предусматриваются монтажные проемы для возможности загрузки блоков. В связи с отсутствием колонн в монтажном проеме для опирания модулей второго этажа предусмотрен стальной ригель, представляющий собой ферму с параллельными поясами высотой 1500 мм. Размеры монтажного проема 11 160×5200 мм. Монтажный проем снабжается подъемными воротами. Далее монтируется сетка двухуровневых колонн на заранее выверенный нулевой уровень, необходимых для опирания модулей второго и последующих этажей, при помощи автомобильного стрелового крана. Параллельно с установкой колонн добавляется несколько секций мачтового подъемника. Далее монтируются различные системы безопасности, такие как автоматические регулировщики движения, знаки приоритета движения (для грузовиков) и различные подъемные ограждения, исключающие проникновение людей в разгрузочную и монтажную зоны.

После завершения монтажа конструкций первого этажа приступают к монтажу типовых этажей при помощи автоматизированного мачтового подъемника.

Роботизированный монтаж типовых этажей здания разделен на несколько этапов:

1. Доставка готовых конструкций на объект — блок со сложенными колоннами и стеновым ограждением.
2. Разгрузка.
3. Подача конструкций на автоматизированный подъемник.
4. Вертикальная транспортировка сложного блока до монтажного горизонта.
5. Предварительное наведение объемного блока по месту монтажа.
6. Трансформация колонн.
7. Трансформация стенового ограждения.
8. Постоянное закрепление конструкции блока в проектном положении.
9. Соединение инженерных коммуникаций.
10. Прочие работы.

Объемные блоки заводского изготовления доставляются на строительную площадку трейлерами по два отправочных комплекта блоков на одном грузовике со сложенными колоннами и стеновым ограждением. Дополнительно в отправочный комплект к объемному блоку включаются крепежные элементы. Блоки укладываются на грузовую площадку трейлера через деревянные подкладки. Доставка блока осуществляется к месту разгрузки.

Для снижения затрат строительства и уменьшения размеров строительной площадки при

таком способе монтажа складирование строительных конструкций не предусмотрено. Монтаж ведется непосредственно с «колес». Грузовик следует в разгрузочную зону, расположенную непосредственно в здании на отметке -1.000 . Разрешение на въезд в разгрузочную зону и очередность грузовиков регулируются автоматическим светофором, согласованным с роботизированным мачтовым подъемником. При наличии грузовика со специальной радиометкой и при готовности подъемника принимать конструкции загорается зеленый сигнал на светофоре и автоматически открываются ворота, пропуская грузовик на площадку разгрузки.

Прицеп грузовика останавливается в ядре жесткости. Тележка уже опущена к трейлеру. Телескопическая платформа опускается к модулю на грузовике и при помощи жесткой траверсы захватывает модуль с прицепа. Далее блок, за-

хваченный траверсой, переносится вертикально до монтажного горизонта.

По достижении передвижной платформы монтажного горизонта с учетом безопасного зазора для маневрирования элемента производится выдвижение телескопической платформы. На полностью выдвинутой платформе производится пространственная ориентация блока поворотом жесткой траверсы на 90° (рис. 3).

Для предварительного наведения объемного блока используется «техническое зрение». Процесс наведения ведется путем маневрирования всех подвижных механизмов подъемника. Все телескопические платформы имеют строго разграниченные рабочие зоны (см. рис. 3). Для ускорения постановки блока в проектное положение (на колонны) предусмотрены конические направляющие.

После установки объемного блока на конические направляющие захваты жесткой траверсы

Рис. 3. Пространственная ориентация блока: 1 — мачтовый монтажный робот; 2 — телескопическая грузоподъемная площадка; 3 — манипулятор — траверса

автоматически отсоединяются, и телескопическая платформа возвращается в исходное положение для погрузки следующего блока (рис. 4).

Для установки объемного блока вместо жесткой траверсы возможен вариант с использованием монтажной выдвижной площадки (рис. 5).

Первыми монтируются наиболее удаленные модули. Монтаж стеновых блоков ядра жесткости ведется с запозданием на один этаж.

Постоянное закрепление блоков на колоннах осуществляется при помощи высокопрочных болтов, гаек и шайб. Закручивание болтов осуществляется при помощи ручных гайковертов. Гайковерт может быть снабжен разработанной авторами высокоэффективной насадкой, позволяющей увеличить скорость закручивания гаек и КПД в 36–38 раз (рис. 6).

Для уменьшения количества колонн и экономии материалов для двух смежных блоков используется одна колонна, снабженная монтажной консолью, которая служит для временного крепления монтируемых блоков. Смежные блоки крепятся друг к другу при помощи болтовых соединений.

Параллельно с монтажом перекрытий ведется раскрытие колонн вручную при помощи гидравлического подъемника (рис. 7).

После завершения монтажа всех блоков на одном монтажном горизонте малогабаритное ручное оборудование перемещается на следующий этаж при помощи телескопических площадок мачтового подъемника в автоматическом режиме.

Объемные модули повышенной заводской готовности снабжают инженерными сетями. Монтажники, находясь на смонтированном этаже, с монтажных подмостей соединяют различные инженерные коммуникации через лючки в потолке.

Горизонтальное соединение всех гибких кабелей производится при помощи многоштырьковых влагостойких разъемов типа «*male-female*», позволяющих сократить количество соединений. Цвет разъемов, их строгое расположение в определенных местах модуля и индивидуальная несимметричная форма позволяют исключить любые ошибки при соединении. Защелки на разъемах позволяют исключить их внезапное рассоединение.

Водопровод и канализация из гибких труб располагаются в вертикальных модулях ядра жесткости и по кратчайшему расстоянию присоединяются к сантехническим приборам.

Здание оборудовано центральной системой кондиционирования и вентиляции воздуха. Вентиляционные короба соединяются через гибкую вставку.

Вертикальные коммуникации, расположенные в вертикальном модуле ядра жесткости, сращиваются аналогично горизонтальным. Также в ядре жесткости размещаются аккумуляторы, накапливающие энергию от солнечных батарей.

Фасады здания оформлены трансформируемыми витражными системами из двухкамерного стеклопакета [7, 8]. В простенки, закрывающие колонны, углы здания и перекрытия, вмонтированы солнечные панели, повышающие общую энергоэффективность готового здания [9] (рис. 8).

Особое внимание уделено монтажу фасадной части здания. Витражные системы и простенки, так же как и колонны, являются трансформируемыми благодаря поворотным петлям. Трансформация происходит в следующей последовательности: простенки трансформируются вместе с колоннами. Витражные системы вручную при помощи гидравлического подъемника раскрываются в проектное положение и временно закрепляются. Устанавливается вышележащий модуль и происходит окончательное закрепление болтами (рис. 9). Возможный вариант трансформации — использование дополнительно раскрываемых простенков, закрывающих толщину перекрытия, — «двойное раскрытие» (рис. 10). Для обеспечения герметичности стыков используется уплотнитель.

Модули покрытия аналогичны модулям перекрытия. Кровля — рулонная с утеплением, изготавливается по месту.

Сталебетонные лестницы монтируются внутри ядра при помощи роботизированного мачтового подъемника с жесткими захватами. Лестничные клетки имеют собственные стены и систему дымоудаления.

По завершении монтажа всех строительных конструкций роботизированные мачтовые подъемники перепрофилируются. С подъемника снимаются дополнительные секции для устрой-

Рис. 4. Вариант с использованием жесткого захвата: 1 — мачтовый монтажный робот; 2 — телескопическая грузоподъемная площадка; 3 — манипулятор — траверса; 4 — модуль перекрытия; 5 — трейлер; 6 — витражная система; шаг 1 — установка модуля перекрытия; шаг 2 — раскрытие трансформируемых колонн; шаг 3 — установка последующего блока; шаг 4 — установка стенового модуля ядра жесткости

Рис. 5. Вариант с использованием монтажной площадки: шаг 1 — установка модуля перекрытия; шаг 2 — раскрытие трансформируемых колонн; шаг 3 — установка последующего блока; шаг 4 — установка стенового модуля ядра жесткости

Рис. 6. Насадка на гайковерт

Рис. 7. Установка колонн в проектное положение вручную: 1 — модуль перекрытия; 2 — гидравлический подъемник; 3 — раскрытие трансформируемых колонн

ства покрытия ядра жесткости. На телескопические площадки устанавливаются временные инвентарные подмости. Плиты покрытия укладываются на подмости и подаются подъемником для их монтажа. После завершения монтажа кровли телескопические площадки перемещаются на первый этаж для демонтажа дорогостоящего навесного оборудования — жестких траверс и временных инвентарных подмостей. На освободившихся платформах устанавливаются грузопассажирские лифтовые кабины, которые в дальнейшем служат для вертикального перемещения людей и грузов.

Монтажные проемы первого этажа закладываются облегченными бетонными блоками, и производится финишная отделка.

В готовом здании пониженные места (сквозные проезды) выводятся на нулевую отметку.

После завершения строительства выполняется благоустройство, автомобильные проезды и озеленение прилегающей территории.

Автоматизированные мачтовые подъемники, используемые для возведения здания из объемных модулей, обладают следующими характеристиками (таблица).

Выводы

1. Рассмотрен пример применения строительных роботов для монтажа здания из полносборных трансформируемых высокотехнологичных строительных систем, возводимого при помощи автоматизированных мачтовых подъемников, которые после монтажа перепрофилируются и оснащаются лифтовыми кабинами. Описан цикл монтажа объемных модулей строительным роботом. Каждый этаж доводится до состояния полной готовности, инженерные коммуникации соединяются между собой при помощи разъемных соединений. Показаны преимущества выбранного метода монтажа перед традиционным, поэтапным, а именно:

- сокращение сроков строительства (монтаж модулей перекрытия осуществляется без помощи дополнительных машин и рабочих);
- отделка внешних поверхностей в заводских условиях;
- отсутствие «мокрых» процессов;
- энергоэффективность;
- сокращение расходов на тяжелую строительную технику;
- минимизация ручного труда;

Рис. 8. Пример крепления фасадной панели: 1 — модуль; 2 — трансформируемые колонны; 3 — дополнительные крепежи для наружных стеновых ограждений; 4 — двухкамерный стеклопакет; 5 — простенки с солнечными батареями; 6 — поворотные петли стенового ограждения; 7 — уплотнитель стыка; 8 — нащельник

Рис. 9. Трансформация стенового ограждения: 1 — гидравлический подъемник; 2 — трансформируемые колонны; 3 — двухкамерный стеклопакет; 4 — простенки с солнечными батареями

Рис. 10. Двойная трансформация стенового ограждения: 1 — гидравлический подъемник; 2 — трансформируемые колонны; 3 — двухкамерный стеклопакет; 4 — раскрываемые простенки с солнечными батареями

Параметры монтажного работа

№ п/п	Параметр	Значение
1	Грузоподъемность, т	6,1
2	Скорость подъема, м/с	2,0
3	Вылет, м	15,0
4	Суммарный угол поворота платформы, град	180
5	Угол поворота жесткой траверсы, град	360
6	Высота секции подъемника, м	3,60

- минимальный транспортный объем;
- возможность свободных объемно-планировочных решений здания.

2. Представлена схема движения транспортных средств на строительной площадке, обеспечивающая непрерывную подачу строительных конструкций к автоматизированному подъемнику, в результате чего удастся избежать простоев и уменьшить затраты машинного времени.

Библиографический список

1. Асаул А. Н., Казаков Ю. Н., Быков В. Л., Князев И. П., Ерофеев П. Ю. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом / под ред. Ю. Н. Казакова. СПб.: Гуманистика, 2004. 472 с.
2. Афанасьев А. А. и др. Технология возведения полносборных зданий. М., 2007. 358 с.
3. Афанасьев А. В., Афанасьев В. А. Организация строительства быстровозводимых зданий и сооружений. Быстровозводимые и мобильные здания и сооружения: перспективы использования в современных условиях. СПб.: Стройиздат, 1998. С. 226–230.
4. Байбурун А. Х., Головнев С. Г. Качество и безопасность строительных технологий. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 453 с.
5. Верстов В. В., Бадьин Г. М. Особенности проектирования и строительства зданий и сооружений в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 1 (22). С. 96–105.
6. Вильман Ю. А. Технология строительных процессов и возведения зданий. М., 2014. С. 144–155, 321.
7. ГОСТ 24866–2014. Стеклопакеты клееные. Технические условия.
8. Дьячкова О. Н. Анализ конструктивно-технологических решений витражных систем наружного ограждения зданий // Материалы 71-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 7–9 октября 2015 г.: [в 3 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство; СПбГАСУ. СПб., 2015. С. 107–111.
9. Энергоэффективность светопрозрачных конструкций / Материалы предоставлены ЗАО «Татпроф» // Высотные здания. 2014. № 5–6. С. 110–113.
10. МДС 12-43.2008. Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений. Дата актуализации: 01.02.2017.
11. Мосаков Б. С., Курбатов В. Л. Технология возведения зданий и сооружений: учебник. М.: Высш. школа, 2004. 321 с.
12. Сайт компании Broad Sustainable Building. URL: <http://www.broad.com/ProductShow-80.aspx> (дата обращения: 04.04.2017).
13. Сайт компании CABR Construction Machinery Co., Ltd. URL: http://ru-cabr.com/gruzopassajirskie_podyemniki_serii_sc (дата обращения: 04.04.2017).
14. Сайт компании Geda Original. URL: <https://www.geda.de/en/products/> (дата обращения: 04.04.2017).
15. Справочник строителя / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. М.: АСБ, 2016. 432 с.
16. Meet the Man Who Built a 30-Story Building in 15 Days. URL: <https://www.wired.com/2012/09/broad-sustainable-building-instant-skyscraper/> (дата обращения: 04.04.2017).
17. Сычев С. А. Модернизация скоростного монтажа многофункциональных полносборных зданий из высокотехнологичных строительных систем // Материалы 72-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 5–7 октября 2016 г.: [в 3 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство; СПбГАСУ. СПб., 2016. С. 116–122.
18. Сычев С. А. Исследование изменения затрат монтажа скоростного объемно-модульного строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8 (60). С. 78–81.
19. Сычев С. А. Высокотехнологичная строительная система скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий // Жилищное строительство. 2016. № 8. С. 1–6.
20. Сычев С. А. Технологические принципы ускоренного домостроения, перспектива автоматизированной и роботизированной сборки зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 3 (60). С. 57–61.
21. Теличенко В. И., Терентьев О. М., Липидус А. А. Технология возведения зданий и сооружений: учебник для строит. вузов / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 2004. 446 с.
22. Швиденко В. И. Монтаж строительных конструкций. М.: Высш. школа, 1987.

23. Fudge J., Brown S. Prefabricated modular concrete construction // Building engineer. 2011. № 86 (6). P. 20–21.
24. Head P. R. Construction materials and technology: A Look at the future // Proceedings of the ICE — Civil Engineering. 2001. № 144(3). Pp. 113–118.
25. Knaack U., Chung-Klatte Sh., Hasselbach R. Prefabricated systems: Principles of construction. Berlin: De Gruyter, 2012. 67 p.

References

1. Asaul A. N., et al. *Teoriya i praktika ispol'zovaniya bystrovozvodimyykh zdaniy v obychnyykh usloviyakh i chrezvychaynykh situatsiyakh v Rossii i za rubezhom* [The theory and practice of using pre-fabricated buildings in usual conditions and emergency situations in Russia and abroad]. Ed. by Kazakov Yu. N. St. Petersburg, Gumanistika Publ., 2004, 472 p.
2. Afanas'ev A. A. i dr. *Tekhnologiya vozvedeniya polnosbornyykh zdaniy* [Technology of constructing prefabrication buildings]. Moscow, 2007, 358 p.
3. Afanas'ev A. V., Afanas'ev V. A. *Organizatsiya stroitel'stva bystrovozvodimyykh zdaniy i sooruzheniy. Bystrovozvodimye i mobil'nye zdaniya i sooruzheniya: perspektivy ispol'zovaniya v sovremennykh usloviyakh* [Organization of construction of fast-erected pre-fabricated buildings and structures. Pre-fabricated and mobile buildings and structures. The usage perspectives in the modern conditions]. St. Petersburg, Stroyizdat Publ., 1998, pp. 226–230.
4. Bayburin A. Kh., Golovnev S. G. *Kachestvo i bezopasnost' stroitel'nykh tekhnologiy* [Quality and safety of construction technologies]. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2006, 453 p.
5. Verstov V. V., Bad'in G. M. *Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva zdaniy i sooruzheniy v Sankt-Peterburge* [Peculiarities of designing and constructing buildings and structures in Saint-Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 1 (22), pp. 96–105.
6. Vil'man Yu. A. *Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov i vozvedeniya zdaniy* [Technology of construction processes and installations of buildings]. Moscow, 2014, pp. 144–155, 321.
7. GOST 24866–2014. *Steklopakety kleenye. Tekhnicheskie usloviya*. [GOST 24866–2014. Double-glazed glued windows. Specifications].
8. D'yachkova O. N. *Analiz konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy vitrazhnykh sistem naruzhnogo ograzhdeniya zdaniy* [Analysis of constructive technology solutions of stained glass systems of the outside building enclosures]. *Trudy 71-y nauch. konf. professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta. 7–9 oktyabrya 2015 g. v 3 ch.* [Materials Proc. of the 71-st sci. conf. of professors, teachers, scientists, engineers and graduate students of university. October 7–9, 2015, in 3 pts.]. Pt. I. *Arkhitektura i stroitel'stvo – Architecture and construction*, St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2015, pp. 107–111.
9. *Ehnergoeffektivnost' svetoprozrachnykh konstruktsey* [Energy efficiency of translucent constructions]. *Trudy ZAO Tatprof Vysotnye zdaniya – Proc. of CJSC Tatprof. High-rise buildings*, 2014, no. 5–6, pp. 110–113.
10. MDS 12-43.2008. *Normirovanie prodolzhitel'nosti stroitel'stva zdaniy i sooruzheniy. Data aktualizatsii: 01.02.2017* [MDS 12-43.2008. Rating of duration of construction of buildings and constructions. Date of updating: 01.02.2017].
11. Mosakov B. S., Kurbatov V. L. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy. Uchebnik* [Technology of erecting buildings and structures. Textbook]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2004, 321 p.
12. *Sayt kompanii Broad Sustainable Building* [Website of the Broad Sustainable Building company]. Available at: <http://www.broad.com/ProductShow-80.aspx> (accessed: 04.04.2017).
13. *Sayt kompanii CABR Construction Machinery Co., Ltd.* [Website of the CABR Construction Machinery company]. Available at: http://ru-cabr.com/gruzopassajirskie_podyemniki_serii_sc (accessed: 04.04.2017).
14. *Sayt kompanii Geda Original* [Website of the Geda Original company]. Available at: <https://www.geda.de/en/products/> (accessed: 04.04.2017).
15. Bad'in G. M., Sychev S. A. *Spravochnik stroitelya* [Reference manual of the builder]. Moscow, ASV, 2016, 432 p.
16. *Meet the Man Who Built a 30-Story Building in 15 Days*. Available at: <https://www.wired.com/2012/09/broad-sustainable-building-instant-skyscraper/> (accessed: 04.04.2017).
17. Sychev S. A. *Modernizatsiya skorostnogo montazha mnogofunktsional'nykh polnosbornyykh zdaniy iz vysokotekhnologichnykh stroitel'nykh sistem* [Upgrading the high-speed mounting of multifunction prefabrication buildings from hi-tech construction systems]. *Trudy 72-y nauch. konf. professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta. 5–7 oktyabrya 2016 g. v 3 ch.* [Proc. of the 72-nd sci. conf. of professors, teachers, scientists, engineers and graduate students of university. October 5–7, 2016, in 3 pts.]. Pt. I. *Arkhitektura i stroitel'stvo – Architecture and construction*, St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016, pp. 116–122.
18. Sychev S. A. *Issledovanie izmeneniya trudozatrata montazha skorostnogo ob'emno-modul'nogo stroitel'stva* [Research of labor costs change at mounting of high-speed volume and modular construction]. *Promyshlennoe i*

grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering, 2015, no. 8 (60), pp. 78–81.

19. Sychev S. A. *Vysokotekhnologichnaya stroitel'naya sistema skorostnogo vozvedeniya mnogofunktsional'nykh polnosbornykh zdaniy* [Hi-tech construction system of high-speed erection of multifunction prefabrication buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction*, 2016, no. 8, pp. 1–6.

20. Sychev S. A. *Tekhnologicheskie printsipy uskorenogo domostroeniya, perspektiva avtomatizirovannoy i robotizirovannoy sborki zdaniy* [The technological principles of the accelerated housing construction, the prospect of the automated and robotic assembly of buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2016, no. 3 (60), pp. 57–61.

21. Telichenko V. I., Terent'ev O. M., Lapidus A. A. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy*.

Uchebnik dlya stroit. vuzov [Technology of erecting buildings and constructions, Textbook for building higher education institutions]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2004, 446 p.

22. Shvidenko V. I. *Montazh stroitel'nykh konstruktsiy* [Mounting of building constructions]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1987.

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

24. Head P. R. Construction materials and technology. A Look at the future. *Proceedings of the ICE – Civil Engineering*, 2001, no. 144(3), pp. 113–118.

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