

УДК 691:620.197

© Ю. И. Тилинин, канд. техн. наук, доцент

© О. Г. Ступакова, специалист

© Е. В. Хорошенькая, специалист

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: tilsp@inbox.ru, olgan\_70@mail.ru,

vlady@lan.spbgasu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-80-86

© Yu. I. Tilinin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© O. G. Stupakova, specialist

© E. V. Khoroshen'kaya, specialist

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: tilsp@inbox.ru, olgan\_70@mail.ru,

vlady@lan.spbgasu.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ И МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОБЪЕКТАХ ВОЕННО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

### RESEARCH OF FRAME-PANEL AND MODULAR TECHNOLOGIES AT CONSTRUCTION SITES OF THE MILITARY CONSTRUCTION COMPLEX

Военно-строительный комплекс в современных условиях выполняет работы не только на специальных, но и на гражданских объектах различного назначения. Изучены лучшие практики строительства объектов в арктических условиях и возведения многофункциональных медицинских центров в условиях дефицита времени. В статье рассматривается опыт применения каркасно-панельных и модульных технологий строительства. Особое внимание уделяется строительству административно-бытового комплекса в Арктике, где применялась каркасно-панельная технология возведения зданий, аналогично возводились медицинские центры. Не менее интересен опыт строительства из объемных модулей. При рассмотрении различных каркасно-панельных и модульных технологий возведения зданий на объектах военно-строительного комплекса проведены экспертные оценки и сопоставлены показатели эффективности, в результате были выявлены преимущества и недостатки строительных технологий.

*Ключевые слова:* инновационный опыт, исследование, строительные системы, технологии, каркасно-панельная технология, объемные модули, здания, логистические центры, медицинские центры, административно-бытовые комплексы, общежития, экспертные оценки, область рационального применения, сэндвич-панель, гнутый стальной профиль.

The military construction complex in modern conditions performs work not only on special objects, but also on civilian objects of various purposes. There were studied the best practices in the construction of facilities in the Arctic conditions and the erection of multifunctional medical centers under time pressure. The article discusses the experience of using frame-panel and modular construction technologies. Particular attention is paid to the construction of an administrative and amenity complex in the Arctic, where the frame-panel technology was used for the construction of buildings, medical centers were erected similarly. No less interesting is the experience of building from three-dimensional modules. Considering various frame-panel and modular technologies for erecting buildings at the facilities of the Military Construction Complex, the authors carried out expert assessments and compared performance indicators, as a result of which the advantages and disadvantages of building technologies were identified.

*Keywords:* innovative experience, research, building systems, technologies, frame-panel technology, three-dimensional modules, buildings, logistics centers, medical centers, administrative and amenity complexes, hostels, expert assessments, area of rational application, sandwich panel, bent steel profile.

#### Введение

Изучению каркасно-панельных и модульных технологий посвящены статьи [1–6], в том числе в них рассматривается строительство в целях освоения арктических территорий, сложность которого обусловлена суровым климатом, когда зимой температу-

ра воздуха опускается до  $-40$  °С, при сильных ветрах в такую погоду работа практически невозможна. Период навигации и благоприятных для строительства условий в Арктике составляет около четырех месяцев. За время навигации на арктические острова необходимо доставить строитель-



ные материалы, машины, горюче-смазочные материалы, перевести самих строителей вместе с утепленными палатками, дизельными генераторами, оборудованием для получения питьевой воды из снега, отопительными приборами, мобильной пекарней и кухней, прачечной, а также привезти кровати, посуду, запас постельного белья и одежды. Все перечисленное необходимо при пионерном строительстве жилого поселка для основных строителей объекта. Параллельно со строительством жилого поселка следует приготовить и доставить к месту строительства конструкции и машины, необходимые для возведения основного объекта.

На арктические острова грузы рациональнее доставлять кораблями из Архангельска Северным морским путем. Морской транспорт в северных широтах можно заменить на еще более дорогую авиацию. В любом случае при выборе строительных технологий придется отказаться от тяжелых конструкций из железобетона и свести к минимуму мокрые строительные процессы, такие как бетонирование, кладка стен, штукатурка, водоэмульсионная покраска стен и потолков.

В связи с этим очевидна необходимость снижения транспортных расходов, в первую очередь за счет применения в строительстве легких ограждающих конструкций из материалов высокой теплоэффективности, а также каркасных систем, собираемых из готовых стержневых элементов сухой сборки [4, 5].

Цель настоящего исследования — изучение практического опыта применения в строительстве комплектов легких быстромонтируемых элементов высокой заводской готовности. Необходимо определить рациональную область применения строительных технологий при освоении арктических территорий.

Весьма интересен практический опыт военно-строительного комплекса Министерства обороны России, в который входят

предприятия и организации разных форм собственности, возводящие объекты на всей территории страны по планам Департамента строительства Минобороны и Федерального казенного предприятия «Управление заказчика капитального строительства Министерства обороны РФ». В период с 2014 по 2021 год предприятиями военно-строительного комплекса построены здания в арктической зоне, в районе западной границы России, в местах базирования флота, а также в короткий срок возведены здания медицинских центров в 2020 году [6–9]. Одним из новых объектов в арктической зоне является административно-бытовой комплекс «Арктический трилистник».

В пионерный период построен за две недели временный вахтовый городок площадью 800 м<sup>2</sup>, предназначенный для строителей, было доставлено около 200 тонн стройматериалов и 24 единицы техники.

Основной объект возведен по каркасно-панельной сборной технологии с использованием оцинкованных холодногнутых стальных профилей для возведения каркаса и панелей типа «сэндвич» для стен и кровли (рис. 1 и 2).

При строительстве многофункциональных медицинских центров применялась, так же как и в Арктике, каркасно-панельная сборная технология возведения зданий (рис. 3).

К 15 апреля 2020 года были построены семь медицинских центров в городах Уссурийск (на 60 мест), Нижний Новгород (60 мест), Одинцово (100 мест), Волгоград (100 мест), Подольск (200 мест), Новосибирск (169 мест), Сосновый Бор под Улан-Удэ (160 мест).

К 30 апреля 2020 года было завершено строительство еще девяти медицинских центров в городах Калининград (100 мест), Пушкин (Санкт-Петербург) (60 мест), Смоленск (60 мест), Ростов-на-Дону (160 мест), Оренбург (60 мест), Омск (60 мест),





Рис. 1. Возведение каркаса из оцинкованных холодногнутых профилей одного из зданий комплекса «Арктический трилистник»



Рис. 2. Монтаж сэндвич-панелей одного из зданий комплекса «Арктический трилистник»

Петропавловск-Камчатский (60 мест), Анастасьевка в Хабаровском крае (200 мест), построенных из сборных стальных каркасов с различной конструкцией наружных стен с использованием утеплителя [8].

Предприятия военно-строительного комплекса применяют не только каркасно-панельную, но и объемно-модульную технологию возведения зданий. Например, в поселке городского типа Тикси, расположенном на побережье одноименной бухты моря Лаптевых в Якутии, по модульной технологии построены два здания общежития на 150 человек (рис. 4).

На современных стройках военно-строительного комплекса, по заключению авторов, применяются каркасно-панельные



Рис. 3. Возведение каркасно-панельного здания [8] со встройками из кирпичных перегородок при строительстве многофункционального медицинского центра в г. Усурийске на 60 мест

и модульные технологии возведения зданий следующих типов строительных систем:

1) здания с легким каркасом из квадратных стальных профилей и ограждением из сэндвич-панелей;

2) здания с каркасом из оцинкованных холодногнутых профилей толщиной от 3 до 8 мм и прикрепленным к каркасу ограждением из сэндвич-панелей;

3) здания с каркасом из легких стальных тонкостенных профилей толщиной от 0,4 до 2,5 мм с двусторонней обшивкой листовыми материалами утепленного каркаса;

4) здания из объемных блоков из переоборудованных морских контейнеров;

5) здания из сборно-разборных объемных модулей из металлических элементов и панелей типа «сэндвич».



Рис. 4. Здания общежития на 150 человек [3] в поселке Тикси



Авторами разработана анкета для проведения комплексной экспертной оценки пяти вышеназванных типов строительных систем, возводимых на современных строениях военно-строительного комплекса по каркасно-панельной и модульной технологии.

За основу взяты десять наиболее значимых критериев и десятибалльная оценка каждого критерия. Комплексная оценка измерялась в пределах от 10 до 100 баллов. Алгоритм принятия экспертного решения показан на рис. 5.

В экспертной оценке принимали участие кандидаты и доктора технических наук по специальности 05.23.08 «Технология и организация строительства».

Коэффициент вариации оценок определяется следующим образом:

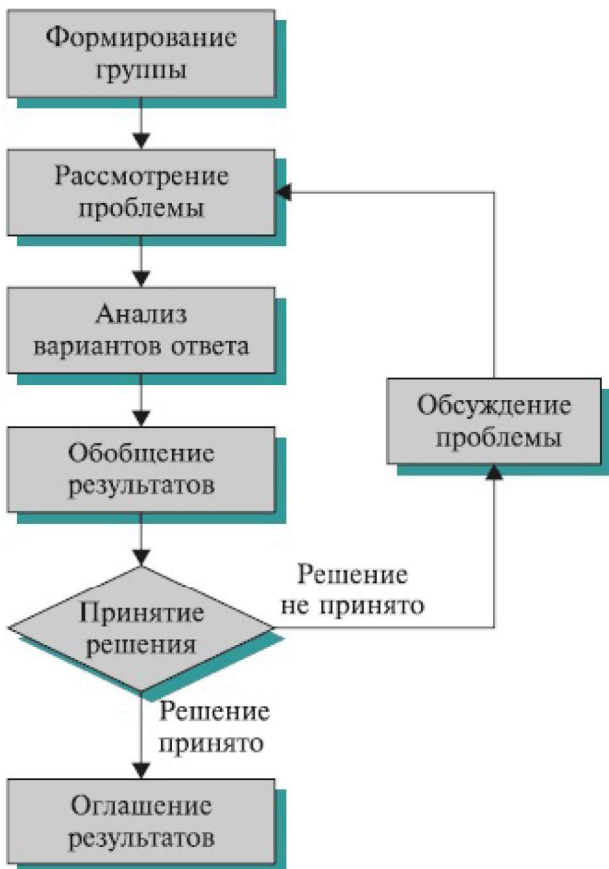


Рис. 5. Алгоритм принятия экспертного решения

«Для оценки корректности экспертных оценок принят коэффициент вариации, определенный по следующей формуле:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j}, \quad (1)$$

где среднее квадратическое отклонение оценок, полученных  $j$ -й технологией, определяется по формуле

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}, \quad (2)$$

где дисперсия  $D_j$  оценок, данных  $j$ -й технологии, определяется по формуле

$$D_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_{ij} - M_j)^2, \quad (3)$$

где  $n$  — число экспертов;  $C_{ij}$  — оценка (в баллах)  $j$ -й технологии  $i$ -м экспертом;  $M_j$  — среднее арифметическое значение величины оценки технологии (в баллах):

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ij}. \quad (4)$$

В расчетах средних баллов по каждому типу строительной системы и соответствующему критерию определялся коэффициент вариации, который не превысил значения 0,27, что говорит о допустимой степени согласованности экспертов» [10].

#### Результаты

Результаты экспертной оценки рассматриваемых типов строительных систем, возводимых военно-строительным комплексом по каркасно-панельной и модульной технологии, представлены в таблице.

#### Обсуждение

Основываясь на результатах экспертной оценки рассматриваемых типов строительных систем, обратим внимание на две строительные системы с высокими баллами:

- здания с каркасом из оцинкованных холодногнутых профилей и ограждением из сэндвич-панелей (71 балл);
- здания из сборно-разборных объемных модулей из металлических элементов и панелей типа «сэндвич» (81 балл).

Здания с каркасом из оцинкованных холодногнутых профилей и ограждением из сэндвич-панелей менее трудоемки в монтаже, потому что применяется болтовое соеди-

## Результаты экспертной оценки рассматриваемых типов строительных систем

Критерии оценки типов строительных систем	Экспертная оценка (по десятибалльной шкале)				
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5
1. Трудозатраты	5	7	5	10	9
2. Теплозащита	7	7	6	6	7
3. Звукоизоляция	7	6	6	7	8
4. Надежность	8	7	6	9	8
5. Эксплуатационная долговечность	7	7	6	9	8
6. Прямые затраты	7	7	8	6	6
7. Заводская готовность	7	8	6	9	8
8. Масса	6	7	8	7	7
9. Стоимость материала в запасах	8	7	6	10	10
10. Удобство транспортировки	7	8	6	6	10
Итоговый показатель эффективности в баллах	69	71	63	79	81

нение оцинкованных профилей и используются ступенчатые сверла, электрические гайковерты для сборки болтовых соединений (рис. 6).

Здания из сборно-разборных объемных модулей, собираемых из металлических элементов и панелей типа «сэндвич» (рис. 7), удобны в транспортировке. Предварительно собранные на стройплощадке объемные

модули технологично соединяются болтами при монтаже зданий, что снижает трудоемкость работ.

На выбор строительной системы оказывает значительное влияние развитость строительной индустрии или наличие запасов необходимых материалов на оптовых базах ближайшего к объекту города, что служит причиной частого применения более доступ-

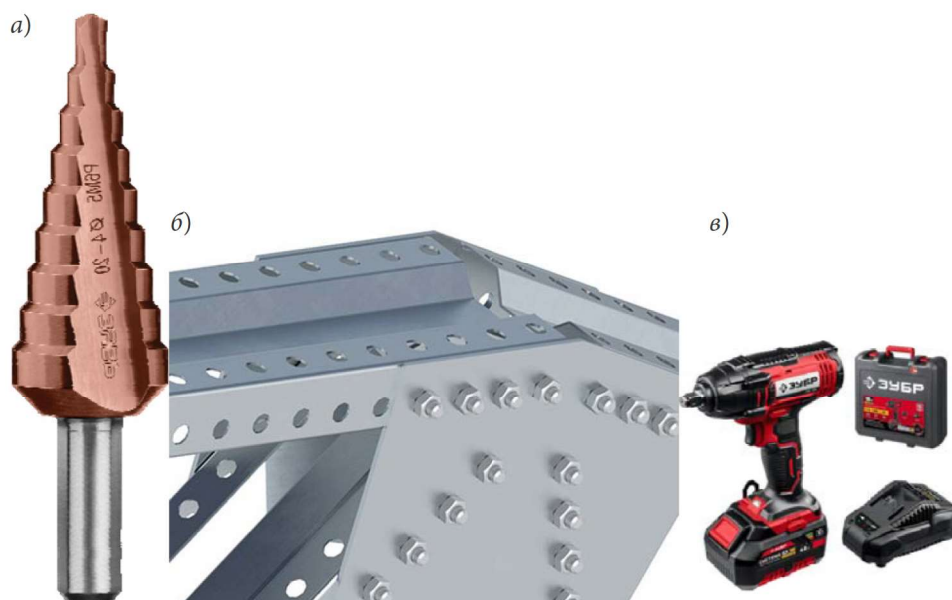


Рис. 6. Болтовое соединение и инструмент для сборки каркаса: а — ступенчатое сверло по металлу, применяется для подгонки отверстий в стальных профилях при сборке каркаса; б — болтовое соединение стальных оцинкованных профилей; в — гайковерт аккумуляторный для сборки болтовых соединений



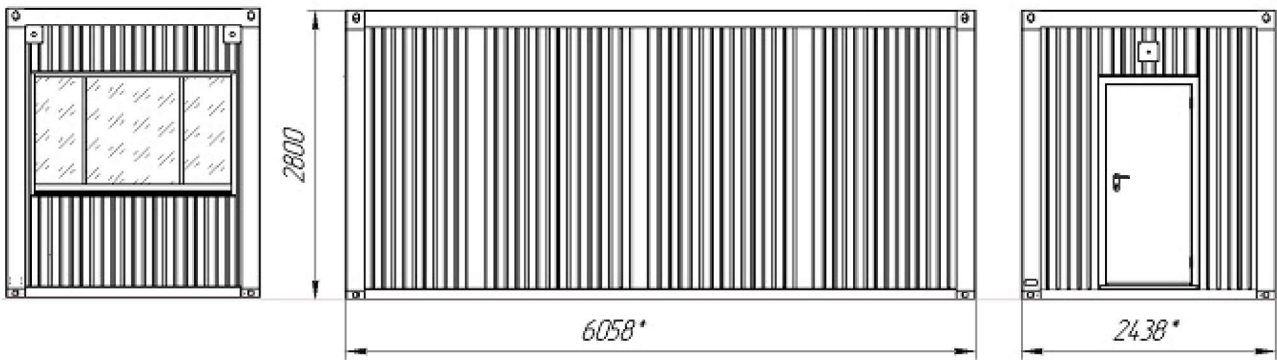


Рис. 7. Сборно-разборный объемный модуль (длина до 12 м, ширина до 2,7 м)

ных типов строительных систем с меньшими баллами экспертной оценки. Для строительства на удаленных островах Арктики, например, наиболее приемлем тип строительной системы с каркасом из оцинкованных холодногнутох профилей и ограждением из сэндвич-панелей, а также тип строительной системы из сборно-разборных объемных модулей, собираемых из заводских металлических элементов и панелей типа «сэндвич».

### Выводы

Таким образом, для представленных на современных стройках военно-строительного комплекса каркасно-панельных и модульных технологий возведения зданий произведена экспертная оценка следующих типов строительных систем:

1. Здания с легким каркасом из квадратных стальных профилей и ограждением из сэндвич-панелей (показатель эффективности 69 баллов).

2. Здания с каркасом из оцинкованных холодногнутох профилей и ограждением из сэндвич-панелей (показатель эффективности 71 балл).

3. Здания с каркасом из легких стальных тонкостенных профилей с двусторонней обшивкой листовыми материалами утепленного каркаса (показатель эффективности 63 балла).

4. Здания из объемных блоков из переоборудованных морских контейнеров (показатель эффективности 79 баллов).

5. Здания из сборно-разборных объемных модулей из металлических элементов и панелей типа «сэндвич» (показатель эффективности 81 балл).

Для строительства на удаленных от городов территориях, например на островах Арктики, наиболее приемлемы типы строительных систем с каркасом из оцинкованных холодногнутох профилей и ограждением из сэндвич-панелей, а также из сборно-разборных объемных модулей, состоящих из металлических элементов и панелей типа «сэндвич». При строительстве вблизи городов или в городах (строительство в 2020 году медицинских центров) на выбор типа строительной системы влияет развитость строительной индустрии, наличие заводов или запасов необходимых материалов, деталей и конструкций на оптовых базах городов.

### Библиографический список

1. Евтюков С. А., Колчеданцев Л. М., Тилинин Ю. И. Исследование технологии возведения каркасно-панельных и модульных зданий в Арктике // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 5 (88). С. 84–94.

2. 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. Ю. Н. Казакова. СПб.: Гуманистика, 2004. 472 с.

3. Тилинин Ю. И., Животов Д. А., Тилинин В. Ю. Повышение технологичности монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 1 (35). С. 34–37.

4. Казаков Ю. Н., Хорошенькая Е. В., Адам Ф.-М. Высокоскоростное строительство зданий из легких сэндвич-панельных систем. СПб.: СПбГАСУ, 2018. 176 с.

5. Казаков Ю. Н., Гусева О. В. Способы возведения мобильных и трансформирующихся конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 4 (63). С. 158–163.

6. Тилинин Ю. И., Бахтинова Ч. О., Хорошенькая Е. В., Тилинин В. Ю. Выбор технологии оперативного строительства объектов инфраструктуры с учетом долговечности зданий // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 1 (84). С. 90–96.

7. Yudina A., Sychov S., Gaido A. Construction system for the erection of prefabricated buildings out of factory-made modules // Architecture and Engineering. 2020. Vol. 5. № 2. Pp. 32–37. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-2-32-37.

8. Biryukov A., Dobryshkin E., Biryukov Yu., Tokarev N. Complex method for restoring the energy facilities technical condition in the Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 539. 012149.

9. Казаков Ю. Н., Тимошук О. А., Сокоиков Е. Д. Совершенствование технологии монтажа зданий из объемных блоков со стальным каркасом методом автоматического соединения с помощью вертикальных стержней и горизонтальных пластин // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6 (83). С. 132–139.

10. Гуцыкова С. В. Метод экспертных оценок. Теория и практика. М.: Когито-Центр, 2011. 144 с.

## References

1. Evtyukov S. A., Kolchedantsev L. M., Tilinin Yu. I. *Issledovanie tekhnologii vozvedeniya karkasno-panel'nyh i modul'nyh zdaniy v Arktike* [Research of the construction technology of framepanel and modular buildings in the Arctic zone]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 5 (88), pp. 84–94.

2. Asaul A. N., Kazakov Yu. N., Bykov V. L., Knyaz' I. P., Erofeev P. Yu. *Teoriya i praktika ispol'zovaniya bystrovzvodimyyh zdaniy v obychnyyh usloviyakh i chrezvychajnykh situatsiyah v Rossii i za rubezhom* [Theory and practice of using quickly erected buildings in normal

conditions and emergency situations in Russia and abroad]. Ed. by Kazakov Yu. N. St. Petersburg, Gumanistika Publ., 2004, 472 p.

3. Tilinin Yu. I., Zhivotov D. A., Tilinin V. Yu. *Povyshenie tekhnologichnosti montazha karkasno-panel'nyh bystrovzvodimyyh zdaniy* [Increasing the manufacturability of frame and panel quickly erected buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya – Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea Region*, 2021, no. 1 (35), pp. 34–37.

4. Kazakov Yu. N., Khoroshen'kaya E. V., Adam F. M. *Vysokoskorostnoe stroitel'stvo zdaniy iz legkiy sendvich-panel'nyh sistem* [High-speed construction of buildings from lightweight sandwich panel systems]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, 176 p.

5. Kazakov Yu. N., Guseva O. V. *Sposoby vozvedeniya mobil'nyh i transformiruyushchihya konstruktsey* [Ways of erecting mobile and transforming structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 4 (63), pp. 158–163.

6. Tilinin Yu. I., Bahtinova Ch. O., Khoroshen'kaya E. V., Tilinin V. Yu. *Vybor tekhnologii operativnogo stroitel'stva ob'ektov infrastruktury s uchetom dolgovechnosti zdaniy* [Selection of the technology for the operational construction of infrastructure facilities, taking into account the durability of buildings]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 1 (84), pp. 90–96.

7. Yudina A., Sychov S., Gaido A. Construction system for the erection of prefabricated buildings out of factory-made modules. *Architecture and Engineering*, 2020, vol. 5, no. 2, pp. 32–37. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-2-32-37.

8. Biryukov A., Dobryshkin E., Biryukov Yu., Tokarev N. Complex method for restoring the energy facilities technical condition in the Arctic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 539, 012149.

9. Kazakov Yu. N., Timoshchuk O. A., Sokovikov E. D. *Sovershenstvovanie tekhnologii montazha zdaniy iz ob'emnykh blokov so stal'nym karkasom metodom avtomaticheskogo soedineniya s pomoshch'yu vertikal'nykh stержnej i gorizonta'nykh plastin* [Improvement of the technology of erection of buildings of volume blocks with a steel frame by the method of automatic connection using vertical bars and horizontal plates]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 6 (83), pp. 132–139.

10. Gutsykova S. V. *Metod ekspertnykh ocenok. Teoriya i praktika* [Method of expert evaluations. Theory and practice]. Moscow, Kogito-Tsentr Publ., 2011, 144 p.