Технология и организация строительства

УДК 624.016; 693.955; 691.714

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор

© Ю. И. Тилинин, канд. техн. наук

© А. П. Щербаков, ассистент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: faat@spbgasu.ru, tilsp@inbox.ru,

shurbakov.aleksandr@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-3-72-79

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor

© Yu. I. Tilinin, PhD in Sci. Tech.

© A. P. Scherbakov, assistant lecturer

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: faat@spbgasu.ru, tilsp@inbox.ru,

shurbakov.aleksandr@yandex.ru

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ С УЧЕТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

TO THE ISSUE OF AUTOMATING THE PROCESSES OF MONOLITHIC HOUSING CONSTRUCTION TAKING INTO ACCOUNT THE STUDIES OF CONSTRUCTION STEEL USED IN BUILDING ROBOTICS TECHNOLOGY

В современном строительстве применяется несколько строительных систем, в основе которых — различные строительные технологии возведения несущих и ограждающих конструкций, но объединяет все технологии применение строительных машин, и в первую очередь грузоподъемных. Развитию механизации строительных процессов всегда предшествовало появление новых строительных кранов и подъемников. Внутриплощадочные транспортные затраты, особенно затраты на вертикальное транспортирование строительных конструкций и материалов, существенно ограничивали этажность строительных объектов в связи с увеличением совокупных трудозатрат. С ростом этажности при внедрении в строительное производство грузоподъемных машин снизились удельные затраты в жилищном строительстве на инженерную подготовку и обустройство территории. По мнению авторов, на смену повышению эффективности строительства за счет роста этажности зданий приходит повышение эффективности строительства автоматизации технологических процессов. Развитие технологий на основе автоматизации процесса монтажных и главным образом бетонных работ возможно при создании манипуляторов из сталей, ранее мало применявшихся в краностроении.

Ключевые слова: строительство, технология, возведение зданий, развитие, краностроение, механизация, автоматизация, строительный процесс, конструкционная сталь, манипулятор.

In modern construction, several construction systems are used which are based on various construction technologies for constructing bearing and enclosing structures, but all the technologies are combined with the use of construction, primarily hoisting, machines. The development of mechanization of construction processes has always been preceded by the emergence of new construction cranes and hoists. On-site transport costs, especially the costs of vertical transportation of building structures and materials significantly limited the number of storeys of construction projects due to the increasing total labor costs. With the growth of the number of storeys, at using the hoisting machinery in construction industry, the unit costs in housing engineering training and arrangement of the territory decreased. According to the authors, the increase in the efficiency of construction due to the increase in the number of storeys is being replaced with the increase in the efficiency of construction due to the automation of technology processes. The development of technologies based on the automation of the process of installation and mainly concrete works is possible under condition of creating manipulators made of steel, previously little used in crane construction.

Keywords: construction, technology, construction of buildings, development, crane construction, mechanization, automation, construction process, structural steel, manipulator.

Домостроительные технологии в городском строительстве имеют свою область применения, обусловленную в первую очередь местом строительства, характеризующим сложившейся застройкой, наличием инженерного обеспечения, геологическими условиями и производственными мощностями строительного комплекса [1].

Например, в жилищном строительстве Санкт-Петербурга наиболее частое применение имеют следующие домостроительные технологии: традиционная кладочная, крупнопанельная, монолитная и сборно-монолитная технология. Исследование технологий кирпичного домостроения исторического центра Санкт-Петербурга выявило прочностные особенности традиционной кладочной технологии за счет характера совместной работы материала стен [2]. Современные кладочные технологии развиваются на многолетнем технологическом опыте кирпичной кладки с учетом новых кладочных материалов из пористых бетонов и пустотных керамических камней. Традиционно кладочная технология применяется для строительства наружных и внутренних стен, а также перегородок из кирпича и мелких блоков.

Строительство крупнопанельных зданий ведется методом монтажа сборных железобетонных элементов: вначале выполняется доставка автомобильным транспортом конструкций комплекта жилого дома с ДСК на строительную площадку, затем бригада монтажников строительных конструкций осуществляет возведение здания, выполняя установку в проектное положение монтажным краном вентиляционных и лифтовых шахт, санитарно-технических кабин и стеновых панелей [3].

С середины 60-х годов прошлого века сборное домостроение стало основой типовой многоэтажной застройки новых жилых районов промышленных городов. В связи с увеличением массы и высоты подъема сборных конструкций новыми строительными кранами в начале 1970-х годов домостроительные комбинаты совместно с проектными институтами приступают к внедрению новых конструктивных и объемно-планировочных решений панельных зданий. В 1966 году институт «ЛенЗНИИЭП» разработал усовершенствованный проект 1-ЛГ-504Д жилого девятиэтажного крупнопанельного дома с лиф-

том. На Обуховском ДСК в 1966 году приступили к производству серии 1-ЛГ-602. За период до 2001 года построено 424 дома. В 1980-е годы были модернизированы имеющиеся серии жилых домов, увеличена высота потолка до 2,7 м; площадь кухни стала не менее 8 м² [4].

В 1992 году ДСК-2 был преобразован в современное производство под брендом ДСК «Блок», выпускающее конструкции 137-й серии, оснащенной двумя лифтами (грузовым и пассажирским). В 2012 году на комбинате завершена очередная модернизация производства, начатая еще в 2006 году. В 2011 году к ЗАО ДСК «Блок» было присоединено ОАО «Гатчинский ДСК», которое с 1973 по 2005 годы выпускало 121-ю серию сборного панельного железобетонного дома высотой до 17 этажей с высотой жилых помещений 2,7 м, площадью кухонь 12 м². В домах 121-й серии в основном однокомнатные, двухкомнатные и трехкомнатные квартиры. В 2002 году ЗАО ДСК «Блок» вошло в состав группы компаний «ЛСР» [4].

Значительное развитие технологии монолитного домостроения обусловлено внедрением в практику строительного производства механизации технологических процессов.

Технологические процессы монолитного домостроения показаны на рис. 1 [6].

Поступление в строительную отрасль автобетоносмесителей решило проблему доставки бетонной смеси на отдаленные от бетоносмесительных заводов объекты. Кроме того, механизировать подачу бетонной смеси в опалубку позволило применение бетононасосов.

При монолитной технологии возведения зданий, так же как и при полносборной технологии, требуется применение монтажного крана для установки щитов опалубки, подачи в рабочую зону строительной арматуры.

Например, поворотный башенный кран на рельсовом ходу КБ-503 имеет максимальный вылет стрелы 31 м, высоту подъема 67,5 м, грузоподъемность 9 т [7].

Появление на строительном рынке кранов большой грузоподъемности, применяемых для подачи в котлован буровых установок и других строительных машин, открыло возможности строительства глубоких котлованов [7]. Например, автомобильный кран GROVE GMK 4100L

Рис. 1. Технологические процессы монолитного домостроения [6]

(100 тонн) имеет высоту подъема стрелы 60 м и применяется для опускания строительной техники в котлован, монтажа строительных кранов и тяжелого технологического оборудования.

Башенный кран Liebherr High Top 280 EC-H 12 Litronic, устанавливаемый на анкера, поднимает стрелу на 52,7 м и имеет максимальный вылет 75 м, удерживая на этом вылете 2,5 т. На вылете 21 м поднимает груз массой 12 т, а на вылете 43 м — 5 т. Применение современного грейферного оборудования и буровых установок решает проблему строительства фундаментов на слабых грунтах Санкт-Петербурга и тем самым открывает возможность возведения жилых зданий высотой 23 и более этажей [9].

Еще до 1970 года в ЦНИИЭПжилища были разработаны конструкции безбалочного пере-

крытия, не имеющего капители. В дальнейшем были разработаны модифицированные варианты систем сборно-монолитного безригельного каркаса КУБ 2,5, КУБ-3V.

Рассмотренные домостроительные технологии имеют свои особенности, которые в зависимости от места и задач строительства выступают как преимущества или как недостатки строительной системы. Сравнительная оценка домостроительных технологий выполнена А. Ф. Юдиной, С. А. Евтюковым, Ю. И. Тилиным [10].

Авторами выбраны критерии для проведения комплексной экспертной оценки строительных технологий, применяемых в жилищном строительстве Санкт-Петербурга, проведена экспертная оценка и сделан следующий вывод: наиболее универсальной в городских условиях строитель-

Рис. 2. Схема возведения здания в скользящей опалубке с подачей смеси на высоту бетононасосом: 1 — скользящая опалубка; 2 — положение распределительной стрелы манипулятора; 3 — распределительная стрела; 4 — рукав компенсатор длины бетоновода; 5 — постамент с полноповоротной стрелой; 6 — бетоновод; 7 — бетононасос; 8 — автобетоносмеситель [12]

ства является технология монолитного домостроения [11].

По мнению авторов, наиболее перспективным направлением развития технологии монолитного домостроения является переход от комплексной механизации технологических процессов к автоматизации комплексного процесса, например возведения монолитного здания в скользящей опалубке из самоуплотняющегося бетона (рис. 2).

Бетоновод распределительной стрелы соединяется с вертикальным бетоноводом, принимающим бетонную смесь от бетононасоса.

Автоматизация и роботизация технологических процессов в значительной степени реализуются за счет применения износостойкого рабочего оборудования — роботизированных строительных машин-манипуляторов [13].

Уже имеются опытные образцы роботизации арматурных работ, например экспериментальный автоматизированный манипулятор, применяемый при сварке арматурного каркаса¹ (рис. 3).

Для подачи и укладки бетонной смеси необходим автоматизированный башенный манипулятор, который целесообразно выполнить на основе башенного строительного крана, а распределительную стрелу-манипулятор — аналогично стреле крана. Более того, башенный манипулятор должен иметь грузоподъемную функцию для подачи на высоту арматуры и других элементов. Предположительно можно ограничить грузоподъемность до 2 т.

Серьезным препятствием для создания и эксплуатации автоматизированных стрел-

¹ URL: <https://www.forumhouse.ru/articles/house/7560>

Рис. 3. Робот для укладки и сварки арматурных стержней

манипуляторов служит быстрая изнашиваемость их конструкций в части сварных соединений конструкционных сталей.

Как известно, сталь представляет собой сплав железа с углеродом в количестве до 2 % и другими элементами, такими как марганец — до 1 %, кремний — до 0,4 %, а также вредными примесями — серой и фосфором. В состав легированной стали входит следующая лигатура: хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий и др. Чем больше углерода в сплаве, тем прочнее и тверже сталь, чем меньше углерода содержится в сплаве, тем сталь пластичнее и более вязкая.

В целях снятия напряжения в стали, полученного после закалки, производится ее отпуск нагреванием до температуры значительно ниже 800 °С. Отпуск стали приводит к некоторому снижению твердости, но при этом происходит повышение ударной вязкости. Сталь может подвергаться отжигу, то есть нагреву с последующим медленным охлаждением, и нормализации (нагреву с охлаждением на воздухе) с целью повышения пластичности.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны широко применяемые в строительстве и других отраслях промышленности малоуглеродистые стали Ст3, 08пс, 10, 20, 30 и низколегированные 09Г2С и 10ХСНД [14]. Их химический состав представлен в табл. 1.

Исследуемые стали различной исходной структуры подвергались следующим видам термической и термоциклической обработки (табл. 2):

- состояние заводской поставки;
- термическая (отжиг, нормализация, закалка + отпуск);
- термоциклическая (ТЦО 3 и 6 циклов после отжига и нормализации, ТЦО на зернистый перлит 3 и 6 циклов).

Обработка на зернистый перлит включала нормализацию стали 30 и последующую ТЦО при 780 °С в количестве 3 и 6 циклов с последующим охлаждением на воздухе до 630 °С и затем в воде. После 3-го и 6-го циклов охлаждение проводилось только на воздухе.

Проведенная предварительная обработка конструкционных сталей по выбранным опти-

Таблица 1

Химический состав сталей для эксперимента

Марка стали	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
Ст3	0,14–0,22	0,15–0,30	0,40–0,65	0,050–0,045	0,040–0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,30
08пс	0,05–0,12	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,040	≤0,035	≤0,10	≤0,30	≤0,30
10	0,08	0,09	0,45	0,02	0,014	0,03	0,02	0,04
20	0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,040	≤0,030	≤0,25	≤0,30	≤0,30
30	0,27–0,35	0,17–0,37	0,50–0,80	≤0,040	≤0,035	≤0,25	≤0,30	≤0,30
09Г2С	0,11	0,68	1,33	0,008	0,015	0,03	0,02	0,03
10ХСНД	0,10	0,64	0,56	0,006	0,013	0,65	0,53	0,44

мальным режимам позволила получить крупнозернистую и мелкозернистую структуры, при этом проведение ТЦО позволяет получать очень мелкозернистые структуры, не свойственные обычным видам термической обработки [15, 16].

Проведение обработки на зернистый перлит с использованием ТЦО позволяет не только измельчить структуру, но и сфероидизировать включения цементита [15].

Так, проведенная сфероидизация сталей 30, 40, 45 и 60 при ТЦО по сравнению с нормализацией значительно повышала механические свойства: предел текучести на 6...15 %, пластичность на 10...25 % и ударную вязкость на 70...110 %.

Термоциклическая обработка углеродистых сталей оказывает значительное влияние на прочностные свойства углеродистых и легированных конструкционных сталей. Отличительная особенность легированных сталей от углеродистых заключается в низкой активности углерода. Од-

нако если суммарное количество легированных элементов не превышает 5 %, то способы термоциклической обработки углеродистых сталей могут быть применены к легированным без существенного изменения технологии.

Значительное повышение механических свойств легированной стали отметили авторы [16]. Так, по сравнению с изотермической обработкой у низколегированной стали 20Х после ТЦО механические свойства повышались на 20...35 %, а ударная вязкость в два раза.

Значительное повышение прочностных свойств конструкционных сталей при ТЦО позволяет рекомендовать ее для усиления металла при выполнении сварных соединений элементов металлоконструкций.

Получение мелкозернистой структуры с разной степенью дисперсности в сварных заготовках до проведения сварки позволит получить более благоприятную литую структуру в свар-

Таблица 2

Режимы термической и термоциклической обработки стали

Марка стали	Отжиг, °С	Нормализация, °С	Закалка + отпуск, °С	Отжиг + ТЦО, °С		Нормализация + ТЦО, °С		Обработка на зернистый перлит (нормализация + ТЦО), °С	
				3 цикла	6 циклов	3 цикла	6 циклов	3 цикла	6 циклов
Ст3	900	900	–	780	780	780	780	–	–
08пс	900	900	–	780	780	780	780	–	–
10	920	920	–	780	780	780	780	–	–
20	900	900	880+600	780	780	780	780	–	–
30	880	880	880+600	780	780	780	780	Нормализация ++ 780 °С, охлаждение до 630 °С на воздухе ++ вода	
09Г2С	900	900	–	780	780	780	780	–	–
10ХСНД	900	900	–	780	780	780	780	–	–

ном шве за счет первичного формирования на кромках заготовок более мелких кристаллитов, и за счет этого снизить структурную неоднородность и повысить равнопрочность зон сварных соединений [17].

Для получения сварных образцов в одинаковых условиях использовалось специально спроектированное и изготовленное приспособление.

Проведенные сварочные работы на конструкционных сталях с различной исходной структурой позволили получить идентичные сварные образцы для последующих исследований структуры, механических свойств и коррозионной стойкости.

Выводы

1. Определено направление совершенствования технологического процесса подачи и укладки бетонной смеси в опалубку, заключающееся в создании башенных автоматизированных манипуляторов с поворотной распределительной стрелой.

2. Выявлены актуальные проблемы совершенствования сварных соединений конструкционных сталей автоматизированных манипуляторов.

3. Выбраны для усиления сварных соединений конструкционных сталей автоматизированных манипуляторов малоуглеродистые стали Ст3, 08пс, 10, 20, 30 и низколегированные стали 09Г2С и 10ХСНД, прошедшие при исследовании экспериментальную термическую и термоциклическую обработку.

Библиографический список

1. Рыбнов Е. И., Егоров А. Н., Хейдуцкий З., Гдимиан Н. Г. Организация и планирование работы производственных структур при крупномасштабном жилищном строительстве // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 98–102.
2. Головина С. Г., Сокол Ю. В. К вопросу исследования совместной работы строительных материалов в наружных ограждающих конструкциях в бывших доходных домах исторического центра Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 112–117.
3. Юдина А. Ф., Дьячкова О. Н. Анализ вариантов проектно-строительных решений жилых многоэтажных зданий (на примере Санкт-Петербурга) // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 2 (23). С. 115–122.
4. Тилинин Ю. И. Перевооружение крупнопанельного домостроения в Санкт-Петербурге // Сб. науч.

тр. участников межвуз. науч.-практ. конф. «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» / под общ. ред. А. Н. Бирюкова. СПб.: ВИ (ИТ), 2015. С. 271–274.

5. Заренков В. А. Новые опалубочные системы в «ЛенСпецСМУ» // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Постсоветское градостроительство. Проблемы и перспективы». СПб., 16–17 апреля 2001 г. СПб.: Интан, 2001. 211 с.

6. Альхалуш М., Марсов В. И. Роботизированные комплексы в монолитном домостроении. URL: <http://www.str-t.ru/publics/52/> (дата обращения: 10.03.2019).

7. Евтюков С. А., Куракина Е. В., Евтюков С. С. Наземные транспортно-технологические машины / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ИД «Петрополис», 2016. 504 с.

8. Гайдо А. Н., Верстов В. В., Иванов Я. В. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий. СПб.: СПбГАСУ, 2014. 368 с.

9. Гайдо А. Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // Жилищное строительство. 2015. № 9. С. 12–15.

10. Юдина А. Ф., Евтюков С. А., Тилинин Ю. И. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). С. 110–119.

11. Yudina A. F., Tilinin Yu. I. Selection of criteria for comparative evaluation of house building technologies // Architecture and Engineering. 2019. Vol. 4, № 1. Pp. 47–52.

12. Анпилов С. М. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: АСВ, 2010. 576 с.

13. Васьковский А. М. Строительные роботы: реальность и перспективы // Вестник МАДИ. 2012. № 2 (29). С. 79–82.

14. Гордиенко В. Е. Магнитный контроль и расчет МК с учетом структурной неоднородности сварных соединений и коррозионных повреждений. СПб.: СПбГАСУ, 2008. 113 с.

15. Федюкин В. К., Смагоринский М. Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. Л.: Машиностроение, 1989. 255 с.

16. Баранов А. А. Фазовые превращения и термоциклирование металлов. Киев: Наукова думка, 1974. 230 с.

17. Гордиенко В. Е., Иванов И. А., Абросимова А. А., Щербаков А. П. К вопросу влияния исходного состояния сварных заготовок на структуру и свойства сварных соединений // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 150–155.

References

1. Rybnov E. I., Egorov A. N., Kheydutskiy Z., Gdimiyani N. G. *Organizatsiya i planirovanie raboty proizvodstvennykh struktur pri krupnomasshtabnom zhilishchnom stroitel'stve* [Organization and planning of production structures' work at large-scale housing construction]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 3 (68), pp. 98–102.
2. Golovina S. G., Sokol Yu. V. *K voprosu issledovaniya sovmestnoy raboty stroitel'nykh materialov v naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh v byvshikh dokhodnykh domakh istoricheskogo tsentra Sankt-Peterburga* [To the issue of studying the joint performance of building materials of enclosing structures in former profitable houses of the historical center of St. Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 3 (68), pp. 112–117.
3. Yudina A. F., D'yachkova O. N. *Analiz variantov proektno-stroitel'nykh resheniy zhilykh mnogoetazhnykh zdaniy (na primere Sankt-Peterburga)* [Analysis of the versions of design-construction solutions of residential multi-storey buildings (on the example of Saint Petersburg)]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2010, no. 2 (23), pp. 115–122.
4. Tilinin Yu. I. *Perevooruzhenie krupnopanel'nogo domostroeniya v Sankt-Peterburge* [Re-equipment of large-panel housing construction in St. Petersburg]. *Trudy uchastnikov mezhvuz. nauch.-prakt. konf. «Sovremennyye napravleniya razvitiya tekhnologii, organizatsii i ekonomiki stroitel'stva»* [Proc. of the Inter-university. sci.-pract. conf. "Modern directions of development of technology, organization and economy of construction"]. Ed. by Biryukov A. N. St. Petersburg, VI (IT) Publ., 2015, pp. 271–274.
5. Zarenkov V. A. *Novye opalubochnye sistemy v «LenSpetsSMU»* [New formwork systems in "LenSpetsSMU"]. *Trudy nauch.-prakt. konf. «Postsovetskoe gradostroitel'stvo. Problemy i perspektivy»* [Proc. of the sci.-pract. conf. "Post-Soviet urban planning. Problems and prospects"]. St. Petersburg, 2001, April 16–17, 211 p.
6. Al'khalush M., Marsov V. I. *Robotizirovannyye komplekсы v monolitnom domostroenii* [Robotic systems in monolithic construction]. Available at: <http://www.str-t.ru/publics/52/> (accessed: 10.03.2019).
7. Evtyukov S. A., Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Nazemnyye transportno-tekhnologicheskie mashiny* [Land transport-technological machines]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.
8. Gaydo A. N., Verstov V. V., Ivanov Ya. V. *Tekhnologii ustroystva ograzhdeniy kotlovanov v usloviyakh gorodskoy zastroyki i akvatoriy* [Technologies of the device of protections of ditches in the conditions of city building and water areas]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2014, 368 p.
9. Gaydo A. N. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh resheniy ustroystva svaynykh fundamentov zhilykh zdaniy v usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Ways to improve technological solutions for pile foundations of residential buildings in urban areas]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2015, no. 9, pp. 12–15.
10. Yudina A. F., Evtyukov S. A., Tilinin Yu. I. *Razvitie tekhnologii zhilishchnogo stroitel'stva v Sankt-Peterburge* [Development of housing construction technologies in St. Petersburg]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 1 (72), pp. 110–119.
11. Yudina A. F., Tilinin Yu. I. Selection of criteria for comparative evaluation of house building technologies. *Architecture and Engineering*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 47–52.
12. Anpilov S. M. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy iz monolitnogo zhelezobetona* [Technology of erection of buildings and constructions from monolithic reinforced concrete]. Moscow, ASV Publ., 2010, 576 p.
13. Vas'kovskiy A. M. *Stroitel'nye roboty: real'nost' i perspektivy* [Construction robots: reality and prospects]. *Vestnik MADI – Bulletin of MADI*, 2012, no. 2 (29), pp. 79–82.
14. Gordienko V. E. *Magnitnyy kontrol' i raschet MK s uchetom strukturnoy neodnorodnosti svarnykh soedineniy i korroziionnykh povrezhdeniy* [Magnetic control and MK calculation taking into account structural heterogeneity of welded joints and corrosion damages]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2008, 113 p.
15. Fedyunin V. K., Smagorinskiy M. E. *Termotsiklicheskaya obrabotka metallov i detaley mashin* [Thermal cycling of metals and machine parts]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989, 255 p.
16. Baranov A. A. *Fazovye prevrashcheniya i termotsiklirovanie metallov* [Phase transformations and thermal cycling of metals]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974, 230 p.
17. Gordienko V. E., Ivanov I. A., Abrosimova A. A., Shcherbakov A. P. *K voprosu vliyaniya iskhodnogo sostoyaniya svarnykh zagotovok na strukturu i svoystva svarnykh soedineniy* [About the influence of the welding billets' initial condition on the structure and properties of welded joints]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 4 (69), pp. 150–155.