



ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов

Тилинин Юрий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: tilsp@inbox.ru;

Животов Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: d.zhivotov@mail.ru

В статье рассмотрена проблема применения технологий возведения зданий в древних городах при застройке новых и реконструкции исторических территорий. Дан обзор развития способов возведения построек и определены основные виды современных домостроительных технологий. Методом экспертных оценок выполнено сравнение способов строительства в городских условиях. По результатам исследования сделан вывод о рациональной области применения кладочных, монолитных и крупнопанельных технологий возведения жилых многоквартирных домов. Выявлены наиболее универсальные свойства монолитного строительства в условиях исторических городов. Определена рациональная область использования сборных и сборно-монолитных технологий в городском жилищном строительстве. Описана эффективность монолитной технологии возведения зданий для высотного строительства, а также реконструкции зданий в исторической части Санкт-Петербурга с использованием метода «стена в грунте».

Ключевые слова: технологии возведения зданий, стена в грунте, сборные и сборно-монолитные технологии.

TECHNOLOGIES OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS IN URBAN CONDITIONS

Yu. I. Tilinin, D. A. Zhivotov

Tilinin Yuriy Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production Technology, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: tilsp@inbox.ru;

Zhivotov Dmitriy Andreyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production Technology, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: d.zhivotov@mail.ru

The article deals with the problem of using technologies for the construction of buildings in historical cities during the construction of new and reconstruction of historical territories. An overview of the development of building construction technologies is given and the main types of modern house-building technologies are identified. The comparison of building construction technologies in urban conditions was carried out by the method of expert assessments. According to the results of the study, a conclusion was made about the rational scope of masonry, monolithic and large-panel technologies for the construction of residential apartment buildings. The most universal properties of monolithic construction for the application of technology in the conditions of historical cities are revealed. The rational scope of application of prefabricated and prefabricated monolithic technologies in urban housing construction is determined. The article considers the effective field of application of monolithic construction technologies. The effectiveness of monolithic technology for the construction of buildings is considered not only for high-rise construction, but also for the reconstruction of buildings in the historical part of St. Petersburg using the wall-in-the-ground technology.

Keywords: technologies for the construction of buildings, a wall in the ground, prefabricated and prefabricated-monolithic technologies.

Эффективность применения технологий возведения зданий на новых городских территориях или в исторической части города обусловлена, с одной стороны, массовостью строительства на новых территориях, а с другой стороны, сохранностью объектов архитектурного наследия на исторических территориях. Исходя из этих требований, в настоящем исследовании ставится цель: выполнив анализ развития технологий возведения зданий, определить основные, наиболее часто применяемые в городском строительстве технологии и обосновать эффективные области использования наиболее часто применяемых в городских условиях технологий возведения зданий.

Развитие технологий возведения зданий выражено на примере домостроения в Санкт-Петербурге, начиная с кирпичных домов исторического центра и заканчивая современными многоэтажными монолитными и сборно-монолитными зданиями [1–3].

Современные кладочные технологии развиваются на многолетнем технологическом опыте кирпичной кладки с учетом новых кладочных материалов из пористых бетонов и пустотных керамических камней. Традиционная кладочная технология применяется для строительства наружных и внутренних стен и перегородок зданий, выполненных из кирпича и мелких блоков.

Повышение грузоподъемности и увеличение других параметров строительных кранов способствовало росту этажности кирпичных зданий, а в последствии внедрению в строительство сборных технологий возведения зданий из элементов заводского изготовления, колонн, ригелей, плит перекрытия и стеновых панелей [4].

Сборная технология масштабно развивалась в период с 1950 по 1980 годы и способствовала в период индустриализации решению жилищной проблемы с использованием поточного метода строительства [5].

В процессе модернизации домостроительных комбинатов в 2010–2012 годах керамзитобетонные наружные стеновые панели были заменены новыми железобетонными с теплоизоляционным слоем в середине, при этом применяются петлевые межпанельные вертикальные узлы [6].

С появлением инвентарной крупнощитовой сборно-разборной опалубки с металлическим каркасом и закрепленной на нем палубой из влагостойкой фанеры, в 1990-е годы набирает темпы монолитное домостроение. При монолитной технологии возведения зданий все рабочие операции выполняются на строительном объекте с использованием механизированного способа подачи бетонной смеси в опалубку [7, 8]. Одним из преимуществ монолитного домостроения на исторической территории Санкт-Петербурга является выгодное комбинирование монолитных технологий освоения подземного пространства с монолитными технологиями строительства надземной части зданий [9–11].

Положительный пример применения монолитных технологий возведения надземной и подземной части здания в исторической части Санкт-Петербурга показан на рисунке 1.

Такая близость строительного объекта к историческим зданиям допустима при использовании технологии «стена в грунте» на этапе нулевых работ (рис. 2).



Рис. 1. Строительство монолитного здания с кирпичным фасадом при реконструкции табачной фабрики в исторической части Санкт-Петербурга (ул. Бронницкая, 11). Фотография Ю. И. Тилинина

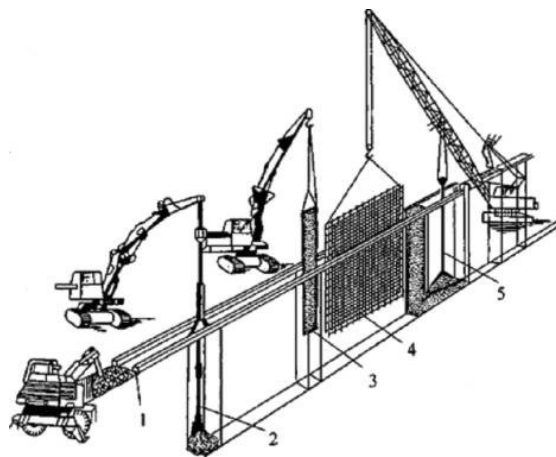


Рис. 2. Технология работ по устройству ограждения будущего котлована монолитной стеной в грунте: 1 – устройство форшахты; 2 – разработка участка траншеи грейфером; 3 – установка ограничителей по краям участка траншеи; установка в траншею арматурного каркаса; 4 – бетонирование участка стены методом вертикально перемещаемой трубы

Разработка траншеи грейфером ведется под защитой бентонитового раствора, схема приготовления, нагнетания и откачивания которого показана на рисунке 3.

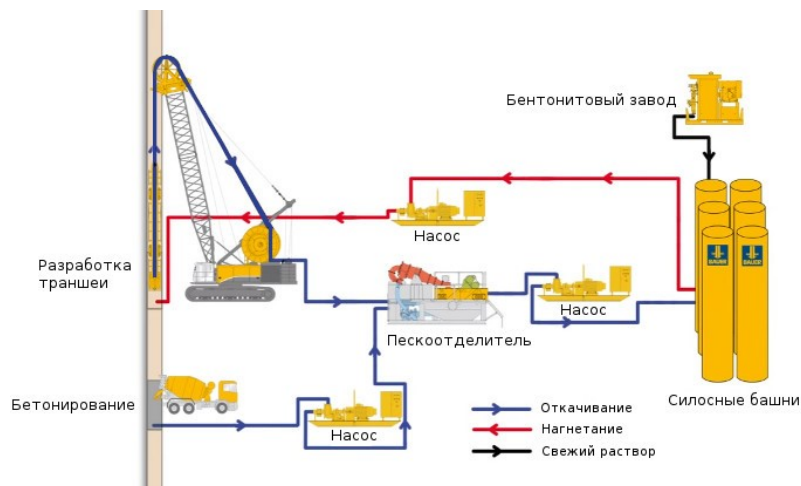


Рис. 3. Схема оборудования Vaier для приготовления, нагнетания и откачивания бентонитового раствора при устройстве стены в грунте (<https://www.beststroy.biz/ru/stena-v-grunte>)

При разработке котлована после устройства стены в грунте, важную роль играет временная распорная система, устанавливаемая в несколько ярусов из стальных труб и прокатных профилей по мере углубления котлована, выполняемого открытым способом (рис. 4).



Рис. 4. Распорная система крепления стен котлована при выемке грунта открытым способом в пространстве, ограниченном стеной в грунте [12]

Строительство в стесненных условиях исторического центра Санкт-Петербурга подземных этажей зданий часто производится по технологии «сверху – вниз», заключающейся в устройстве буронабивных свай-опор, а за тем возведении по грунту монолитных перекрытий с опиранием на свай-опоры. Перекрытия выполняются с проемами, предназначенными для подъема через них строительными кранами грунта, а также для опускания и подъема через них мини-экскаваторов, погрузчиков и других строительных машин, разрабатывающих и перемещающих грунт под перекрытием (рис. 5). Перекрытия бетонировались последовательно сверху вниз, по мере разработки грунта под верхним перекрытием. В нижнем подземном этаже возводится фундаментная плита и снизу – вверх возводятся постоянные вертикальные несущие элементы [5, 6].



Рис. 5. Проем в монолитном железобетонном перекрытии при строительстве второй сцены Мариинского театра с устройством методом «сверху – вниз» глубокого котлована, огражденного монолитной стеной в грунте [12]

Технология «стена в грунте» применима в любых дисперсных грунтах, кроме пльвунов и текучих глин, а также стену в грунте нельзя возвести при больших скоростях фильтрации подземных вод [7,8].

Новым направлением развития технологии массового жилищного строительства является сочетание сборных конструкций с монолитными участками. Одной из таких технологий является сборно-монолитная строительная система КУБ,

представляющая собой сочетание сборных железобетонных колонн размером сечения 400 × 400 мм, плит перекрытия толщиной 160 мм и монолитных участков, соединяющих в целостную конструкцию сборные плиты перекрытия и колонны.

В дальнейшем были разработаны модифицированные варианты систем сборно-монолитного безригельного каркаса КУБ 2,5, КУБ-3V, состоящего из следующих элементов:

- 1) составных сборных железобетонных колонн 400 × 400 мм длиной до 15 м (в местах примыкания перекрытия в колонне отсутствует бетон);
- 2) железобетонной плиты перекрытия 3,0 × 3,0 м, толщиной 160 мм;
- 3) железобетонных связей сечением 200 × 250 мм, обеспечивающих пространственную жесткость и устойчивость каркаса;
- 4) диафрагм жесткости толщиной 160 мм.

Модификация КУБ-2,5 имеет следующие архитектурно-строительные характеристики:

- 1). этажность в сейсмоопасных районах строительства – до 15 этажей, в несейсмоопасных – до 25 этажей;
- 2) сейсмостойкость – до 9 баллов;
- 3) несущая способность междуэтажного перекрытия – до 1300 кг/м²;
- 4) высота этажа – 2,8 м, 3,0 м, 3,3 м;
- 5) основная сетка колонн – 6 м;
- 6) дополнительный шаг колонн или пролет – 3 м, 12 м.

Технико-экономические показатели расхода бетона на 1 м² перекрытия по данным «НПО КУБ» следующие:

- 1) сборный бетон – 19 м³/м²;
- 2) бетонная смесь для монолитных участков и узлов – 0,016 м³/м².

Узел соединения сборных железобетонных колонн выполняется на уровне перекрытия. Для совпадения осей колонн предусмотрен стальной стержень, выступающий из торцевой грани в нижней части монтируемой колонны, который вставляется при монтаже в патрубок, расположенный в верхней торцевой грани, колоны нижележащего этажа. В узле выполняется электросварное соединение выступающих из торцовых граней арматурных стержней каркасов, соединяемых колонн (рис. 6).

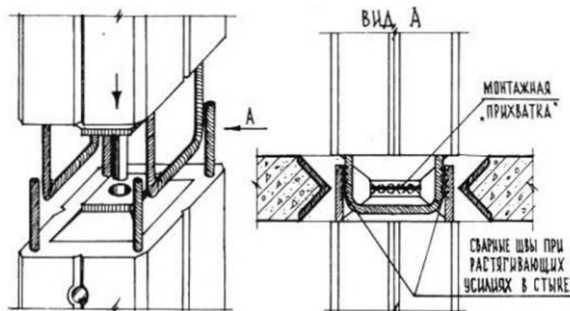


Рис. 6. Узел наращивания сборных железобетонных колонн модификация КУБ – 2,5

(<https://docs.cntd.ru/document/677004581>)

Наращивание колонн выполняется в следующем порядке:

- выполнить строповку колонны, вставив в сквозное отверстие колонну цапфу и зафиксировав ее шпильками с прикрепленным канатом для расстроповки после временного закрепления колонны;
- установить на колонне обойму ниже уровня перекрытия для временного закрепления колонны телескопическими подкосами креплением их к обойме;
- после проверки надежности строповки удержанием приподнятой краном колонны на высоте 0,2 м, производится подача колонны к месту установки;
- фиксация монтируемой колонны путем совмещения и опускания пуансона верхней колонны в матрицу нижней колонны, выполненную в виде закладного патрубка в теле конструкции;
- электросварка арматурных выпусков в узле;
- временное закрепление колонны путем установки временных подкосов с креплением верхнего конца к обойме, а нижнего конца подкосов к перекрытию анкерными болтами;
- произвести расстроповку, вытащив шпильку, а затем и цапфу веревкой.

Временные подкосы снимаются с колонн после устройства вышележащего перекрытия (рис. 7).

Таким образом в жилищном строительстве, рассмотренном на примере домостроения Санкт-Петербурга, наиболее частое применение имеют следующие технологии возведения зданий: традиционная кладочная, крупнопанельная, монолитная и сборно-монолитная технология [10].

Сравнение рассмотренных выше технологий возведения зданий выполнено методом экспертной оценки.

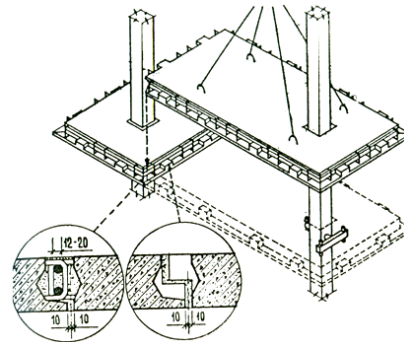


Рис. 7. Монтаж плит безбалочного перекрытия с монолитными стыками модификации КУБ – 2,5

За основу была принята следующая последовательность выработки экспертного решения:

- 1) формирование квалифицированной экспертной группы;
- 2) рассмотрение проблемы;
- 3) подготовка анкеты;
- 4) рассмотрение возможных вариантов ответов членами экспертной группы;
- 5) анкетирование;
- 6) математическая обработка вариантов ответов;
- 7) обсуждение результатов анкетирования и принятие решения об их достоверности;
- 8) оглашение результатов экспертной оценки в случае их достоверности или подготовка повторного экспертного опроса.

В экспертной оценке принимали участие кандидаты и доктора технических наук по специальности 05.23.08 «Технология и организация строительства». Для выбора значимых критериев оценки технологии домостроения выполнено их ранжирование по значимости (весомости) (табл. 1).

Таблица 1

Ранжирование критериев оценки технологии домостроения по значимости

Критерии оценки технологии домостроения	Значимость критерия по десятибалльной шкале
Фасадные архитектурные решения	8
Планировочные архитектурные решения (свобода планировки)	7
Приведенная общая площадь на 1 квартиру	6 менее 6,93
Теплоизоляция (приблизительно равная за счет утеплителя)	5 менее 6,93
Звукоизоляция	9
Этажность	8
Прочность и сейсмостойкость	10
Долговечность	9
Капиталоемкость	8
Себестоимость	9
Трудоёмкость	9
Массовость	7
Материалоемкость	5 менее 6,93
Индустриальность	4 менее 6,93
Сумма баллов	104
Средний балл	6,93

Для проведения сравнительной экспертной оценки технологий возведения жилых зданий выбраны следующие значимые критерии:

- 1) фасадные архитектурные решения;

- 2) планировочные архитектурные решения;
- 3) звукоизоляция межквартирных конструкций;
- 4) допустимая этажность здания;
- 5) прочность и сейсмостойкость здания;

- 6) долговечность несущих элементов здания;
- 7) капиталоемкость технологии;
- 8) себестоимость работ;
- 9) трудоемкость работ;
- 10) массовость (пригодность для массового строительства).

Авторами разработана анкета для проведения комплексной экспертной оценки технологий возведения жилых зданий.

За основу взяты десять наиболее значимых критериев и десятибалльная оценка каждого критерия. Каждый критерий оценивался от 1 до 10 баллов, а комплексная оценка изменяется в пределах от 10 до 100 баллов.

Результаты экспертной оценки технологий возведения жилых зданий сведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты экспертной оценки технологий возведения жилых зданий, возводимых в Санкт-Петербурге

Критерии оценки технологии строительства многоквартирного жилого дома	Значение критерия оценки технологий			
	кладка	панель	монолит	КУБ
Фасадные архитектурные решения	10	3	6	6
Планировочные архитектурные решения	7	3	9	10
Звукоизоляция (минимальная 1 балл)	9	3	5	4
Этажность (минимальная 1 балл)	7	8	10	9
Прочность и сейсмостойкость (минимальная 1 балл)	4	7	10	8
Долговечность (минимальная 1 балл)	10	7	10	8
Капиталоемкость (минимальная 10 баллов)	5	4	8	5
Себестоимость (минимальная 10 баллов)	5	10	7	9
Трудоемкость (максимальная 1 балл)	4	9	7	8
Массовость (минимальная 1 балл)	4	10	8	9
Итого технология строительной системы (максимальное значение 100 баллов)	65	64	80	76

Подводя итоги комплексной оценки технологий возведения жилых зданий, авторы пришли к выводу о том, что более универсальной в городских условиях является технология монолитного строительства. Сборно-монолитная технология не значительно уступает монолитной технологии [11, 12]. Рационально применение сборно-монолитных технологий при строительстве жилых средней стоимости на новых территориях. Менее универсальны традиционная кладочная и сборная технологии. Традиционная кладочная технология рациональна при возведении зданий в исторической застройке. Сборная технология является рациональной в случае массовой застройки новых территорий [13, 14].

Применение монолитного домостроения в комбинации с технологией «стена в грунте» эффективно особенно в исторической части Санкт-Петербурга. На сегодняшний день только «стена в грунте» предохраняет от осадки расположенные близко к котловану исторические здания.

Наиболее подробно домостроительные технологии, применяемые в новом строительстве и реконструкции зданий в исторических российских городах, в том числе в Москве и Санкт-Петербурге, изложены в монографии [15], рассматривающей проблему домостроения как главный элемент в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических городов.

Список литературы

1. Головина С. Г. Архитектурно-конструктивные особенности зданий Санкт-Петербурга 1740-х – начала 1760-х гг. / С. Г. Головина // Системные технологии. – 2022. – № 1 (42). – С. 202–209.
2. Головина С. Г. Развитие архитектурно-конструктивной системы зданий Санкт-Петербурга в эпоху правления Анны Иоанновны (1730–1740 гг.) / С. Г. Головина // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 5 (88). – С. 5–11.
3. Pastukh O. Reconstruction and restoration of historical monuments: international experience / O. Pastukh, T. Gray, S. Golovina // Architecture and Engineering. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 40–49.
4. Тилинин Ю. И. Перевооружение крупнопанельного домостроения в Санкт-Петербурге / Ю. И. Тилинин // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства : сборник научных трудов участников межвузовской научно-практической конференции / под общ. ред. А. Н. Бирюкова. – Санкт-Петербург : ВИ (ИТ), 2015. – С. 271–274.
5. Тилинин Ю. И. Развитие организации и технологии крупнопанельного домостроения в условиях городского строительства / Ю. И. Тилинин, С. А. Бахтинов // Организация строительного производства: материалы II Всероссийской научной конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – С. 85–93.
6. Тилинин Ю. И. Повышение технологичности монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий / Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов, В. Ю. Тилинин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1 (35). – С. 34–37.

7. Евтюков С. А. К вопросу автоматизации процессов монолитного домостроения с учетом исследования конструкционных сталей в строительной робототехнике / С. А. Евтюков, Ю. И. Тилинин, А. П. Щербаков // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 3 (74). – С. 72–79.
8. Тилинин Ю. И., Совершенствование технологического процесса подачи бетонной смеси в опалубку / Ю. И. Тилинин, Г. Д. Макаридзе, Е. В. Хорошенькая // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 4 (75). – С. 74–80.
9. Тилинин Ю. И. Организация и технология производства работ при реконструкции жилых кирпичных зданий исторического центра Санкт-Петербурга / Ю. И. Тилинин // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства : сборник научных трудов участников межвузовской научно-практической конференции / под общ. ред. А. Н. Бирюкова. – Санкт-Петербург : ВИ (ИТ), 2015. – С. 264–270.
10. Biryukov A. N. Efficiency evaluation of apartment houses reconstruction with optimizational criteria application / A. N. Biryukov, I. N. Kravchenko, E. O. Dobryshkin, Yu. A. Biryukov, V. I. Kondrashchenko // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Т. 16, № 1. – С. 14–24.
11. Латута В. В. Исследование водонепроницаемости фундамента для малоэтажного здания, изготовленного вибрационным методом / В. В. Латута, Д. А. Животов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 42–45
12. Гайдо А. Н. К вопросу определения технологических параметров производства свайных работ в стесненных условиях / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3 (62). – С. 84–94.
13. Мангушев Р. А. Перспективы устройства подземных паркингов в условиях стесненной застройки исторического центра Санкт-Петербурга / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин, П. Г. Левинская // Жилищное строительство. – 2019. – № 4. – С. 3–18. – DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-4-3-18>.
14. Мангушев Р. А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова, В. В. Конюшков, А. И. Осокин. – Москва : АСВ, 2013. – 256 с.
15. Тилинин Ю. И. Домостроительные технологии в системе сохранения и развития архитектурно-планировочной структуры исторических российских городов : монография / Ю. И. Тилинин, О. А. Пастух (гл. 1), Д. А. Животов, А. Н. Панин. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 239 с.

© Ю. И. Тилинин, Д. А. Животов

Ссылка для цитирования:

Тилинин Ю. И., Животов Д. А. Технологии строительства зданий в городских условиях // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 1 (43). С. 32–37.

УДК 539.32, 624.04

DOI 10.52684/2312-3702-2022-43-1-37-44

**АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЖАТО-ИЗОГНУТОГО СТЕРЖНЯ
С ИНДУЦИРОВАННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ
В МЕТОДЕ БУБНОВА – ГАЛЕРКИНА**

С. Ю. Калашиников, Е. В. Гурова, Е. Г. Шведов

Калашиников Сергей Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экспертиза и эксплуатация объектов недвижимости», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация; Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация, тел.: +7 (8442) 96-99-28; e-mail: kalashnikov@vstu.ru;

Гурова Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и эксплуатация объектов недвижимости», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация;

Шведов Евгений Геннадьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Рассматривается продольный изгиб гибкого стального прямолинейного стержня. Неоднородность напряженного состояния в отклоненном состоянии приводит к стеснению изгибных деформаций, вызывающих изменение упругих характеристик материала по поперечному сечению и длине, означает изменение расчетных параметров конструкции. В уравнении изогнутой оси стержня в отклоненном состоянии используется предложенная ранее авторами инкрементальная теория нелинейного деформирования тел в неоднородных полях напряжений с индуцированной анизотропией свойств. Решение получено методом Бубнова – Галеркина на основе анализа прогибов стержня с использованием различных базисных функций. Проведен сравнительный анализ влияния на искомый результат вида базисных функций. Независимо от выбора аппроксимирующей