



(19)-0395-1

## ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКИХ СТАЛЬНЫХ И СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

**И. М. Гаранжа<sup>a, 1</sup>, Д. Р. Сахибгареева<sup>b, 2</sup>, И. В. Танасогло<sup>c, 3</sup>**

<sup>a</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов «(РУДН)»,  
6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, Россия, 117198.

<sup>b</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
26, Ярославское шоссе, г. Москва, Россия, 129337.

<sup>c</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> garanzha-i@rudn.ru, <sup>2</sup> 579782398@mail.ru, <sup>3</sup> a.v.tan@mail.ru

Получена 02 августа 2019; принята 27 сентября 2019.

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа деформированного состояния однопролетной плоской стальной и сталежелезобетонной рам при совместной работе с грунтовыми основаниями, залегающими на территории Москвы и Московской области. Усилия в исследуемой раме определялись методом конечных элементов, реализованном в ПБК «SCAD». Главной целью работы является сравнительный анализ моделирования грунтовых оснований при разных сечениях элементов рамы и видах оснований. Для этого была смоделирована плоская рама со столбчатым фундаментом в виде пластины. Полученные результаты позволяют оценить целесообразность использования сталежелезобетонного сечения для элементов каркаса по критерию деформативности, а также проанализировать взаимовлияние поворота фундаментов и перемещений характерных точек рамы.

**Ключевые слова:** деформированное состояние, сталежелезобетонные рамы, совместная работа с грунтовым основанием, модель грунтового основания, теория Винклера, теория Пастернака, глинистый грунт, песчаный грунт.

## ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛОСКИХ СТАЛЕВИХ І СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ ПРИ СПІЛЬНІЙ РОБОТІ З ГРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ

**І. М. Гаранжа<sup>a, 1</sup>, Д. Р. Сахібгареева<sup>b, 2</sup>, І. В. Танасогло<sup>c, 3</sup>**

<sup>a</sup> ФДБОУ ВО «Російський університет дружби народів «(РУДН)»,  
6, вул. Міклухо-Маклая, м. Москва, Росія, 117198.

<sup>b</sup> Національний дослідницький Московський державний будівельний університет,  
26, Ярославське шосе, м. Москва, Росія, 129337.

<sup>c</sup> ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> garanzha-i@rudn.ru, <sup>2</sup> 579782398@mail.ru, <sup>3</sup> a.v.tan@mail.ru

Отримана 02 серпня 2019; прийнята 27 вересня 2019.

**Анотація.** У статті наведено результати аналізу деформованого стану однопролетної плоскої сталеві і сталезалізобетонної рами при спільній роботі з грунтовими основами, що залягають на території

Москви та Московської області. Зусилля в досліджуваній рамі визначалися методом кінцевих елементів, реалізованому у програмному комплексі «SCAD». Головною метою роботи є порівнювальний аналіз моделювання ґрунтових основ при різних перерізах елементів рами і видів ґрунтів. Для цього була змодельована плоска рама зі стовпчастим фундаментом у вигляді пластини. Отримані результати дозволяють оцінити доцільність використання сталезалізобетонного перерізу для елементів каркаса за критерієм деформативності, а також проаналізувати взаємовплив повороту фундаментів і переміщень характерних точок рами.

**Ключові слова:** деформований стан, сталезалізобетонні рами, спільна робота з ґрунтовою основою, модель ґрунтової основи, теорія Вінклера, теорія Пастернака, глинистий ґрунт, піщаний ґрунт.

## DEFORMED STATE OF FLAT STEEL AND STEEL-REINFORCED CONCRETE FRAMES WHEN WORKING TOGETHER WITH A GROUND BASE

Igor Garanzha <sup>a,1</sup>, Diana Sakhibgareeva <sup>b,2</sup>, Irina Tanasoglo <sup>c,3</sup>

<sup>a</sup> *People's Friendship University of Russia (RUDN),  
6, Miklukho-Maklaya Str, Moscow, Russia, 117198.*

<sup>b</sup> *Moscow State National Research University of Civil Engineering,  
26, Yaroslavl highway, Moscow, Russia, 129337.*

<sup>c</sup> *Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> garanzha-i@rudn.ru, <sup>2</sup> 579782398@mail.ru, <sup>3</sup> a.v.tan@mail.ru*

*Received 02 August 2019; accepted 27 September 2019.*

**Abstract.** The article presents the results of analysis of the deformed state of single-span flat steel and steel-reinforced concrete frames when working together with ground bases that lie on the territory of Moscow and the Moscow region. The forces in the frame under study were determined by the finite element method implemented in SCAD. The main goal of the work is a comparative analysis of modeling soil foundations with different sections of frame elements and types of bases. The obtained results allow us to evaluate the feasibility of using a steel-reinforced concrete cross-section for frame elements according to the criterion of deformability, as well as to analyze the interaction of the rotation of foundations and movements of characteristic points of the frame.

**Keywords:** deformed state, steel-reinforced concrete frames, joint work with the soil base, the model of the soil base, Winkler theory, Pasternak theory, clay soil, sandy soil.

### Цель исследования

В данной работе представлен анализ перемещений плоской рамы для двух видов сечений. Сталезалезобетонные элементы обладают большей несущей способностью, а также высокой изгибной жесткостью в отличие от стальных, что позволяет уменьшить размеры поперечного сечения несущих элементов здания [12–19]. В итоге планируется получить более экономичный по металлоёмкости каркас в сравнении с конструкциями из стали.

На основании полученных результатов можно сделать выводы об изгибной и продольной

жесткости элементов, более рационально выбрать модель для задания ґрунтового основания при их различных видах.

### Объект исследования

В качестве объекта исследования на первом этапе рассмотрим плоскую одноэтажную однопролетную поперечную раму пролетом (L) 36 м, и высотой (H) 10 м, при жестком сопряжении ригеля с колонной [6–8] (рис. 1). Фундамент моделировался четырехугольной пластиной (КЭ 44), элементы рамы – стержневыми элементами (КЭ 5 пространственный стержень) [21].

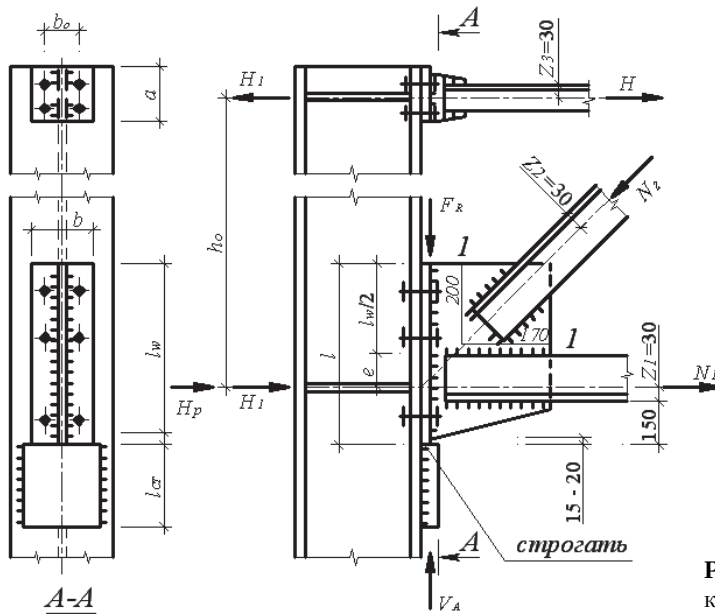


Рисунок 1. Жесткое сопряжении ригеля с колонной.

Определение расчетной схемы однопролетной плоской рамы:

Данная рама была рассмотрена в двух вариантах сечений элементов:

1. Металлическая труба по ГОСТ 10704-91:
  - а) для колонны – сечение  $530 \times 16$  мм (рис. 2б);
  - б) для ригеля – сечение  $377 \times 8$  мм (рис. 2б).
2. Трубобетонная труба, полость металлической трубы заполнена бетоном В12,5:
  - а) для колонны – сечение  $530 \times 16$  мм, ж/б ядро – 498 мм (рис. 3а);
  - б) для ригеля – сечение  $377 \times 8$  мм, ж/б ядро – 361 мм (рис. 3б).

Выбранные сечения, согласно методике предельных состояний, были проверены по [5–8]:

- 1) I г.п.с. по несущей способности.
- 2) II г.п.с. по деформациям.

Первостепенным оказалось второе предельное состояние, так как подобранные сечения по прочности не удовлетворяли предельным прогибам и несущим элементам рамы.

В этой работе проведено исследование двух типов грунтов согласно геологическим картам Москвы и Московской области [1]:

- а) песок, средней крупности, средней плотности: расчетное сопротивление  $R_0 = 400$  кПа; модуль деформации  $E = 3000$  т/м<sup>3</sup>; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; коэффициент пористости  $e = 0,65$ .
- б) глина, мягкопластичная: расчетное сопротивление  $R_0 = 194,35$  кПа; модуль деформации  $E = 1500$  т/м<sup>3</sup>; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,42$ ; коэффициент пористости  $e = 0,72$ .

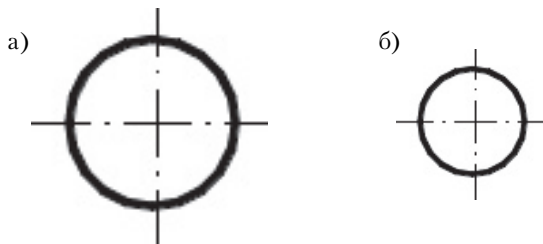


Рисунок 2. Металлическая труба по ГОСТ 10704-91: а) колонна; б) ригель.

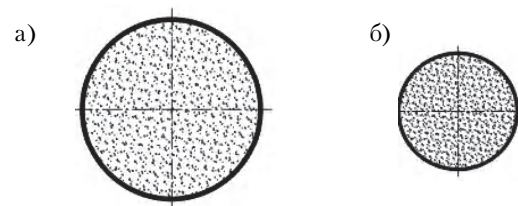
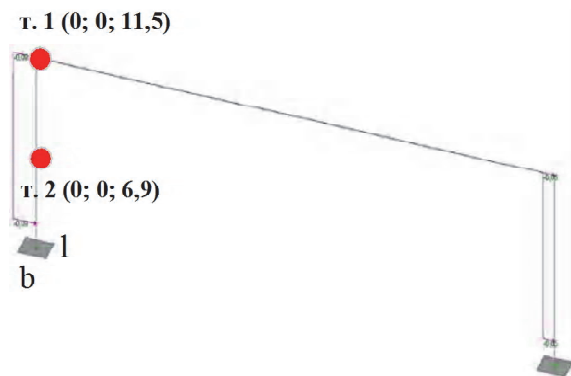
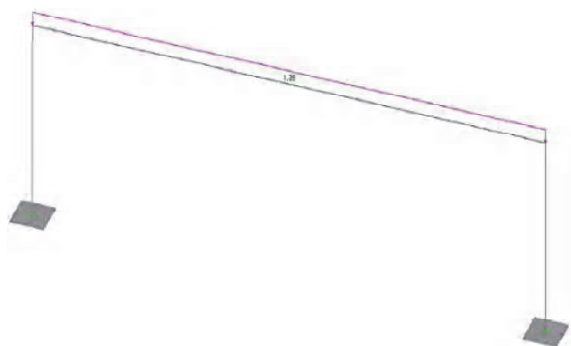


Рисунок 3. Альтернативное трубобетонное сечение: а) колонна; б) ригель.

Для возможности сравнения результатов, необходимо добиться одинакового давления под подошвой фундамента на разных грунтовых основаниях (рис. 4–5), поэтому были подобраны для каждого грунта свои размеры фундамента, в зависимости от расчетного сопротивления грунта [10, 20].



**Рисунок 4.** Расчетная схема поперечной рамы  $L \times H = 36 \times 10$  м. Песок средней крупности. Фундамент-пластина  $b \times l = 2 \times 1,6$  м.



**Рисунок 5.** Расчетная схема поперечной рамы  $L \times H = 36 \times 10$  м. Глина мягкопластичная. Фундамент-пластина  $b \times l = 2,4 \times 2,4$  м.

Фундаменты рамы были подобраны для внецентренного сжатия методом последовательного приближения по формуле [5–8]:

$$L = \frac{N}{2 \cdot B \cdot R_0} + \sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot B \cdot R_0}\right)^2 + \frac{6 \cdot M}{B \cdot R_0}}, \quad (1)$$

где  $B$  – ширина подошвы фундамента,  
 $N$  – продольное усилие в колонне,  
 $M$  – изгибающий момент в основании колонны,  
 $R_0$  – расчетное сопротивление грунта.

Согласно СП 22.13330.2016 отношение давлений под подошвой фундамента должны удовлетворять условиям [1]:

- I.  $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} > 0$ ;
- II.  $1,2 \cdot R_0 > P_{\max}$ .

Размеры подошвы фундамента сведены в табл. 1 с учетом всех вышеперечисленных условий.

**Таблица 1.** Размеры подошвы фундамента

| Тип грунтового основания       | Песок, средней крупности, средней плотности | Глина мягкопластичная |                |               |
|--------------------------------|---|-----------------------|----------------|---------------|
| Расчетное сопротивление грунта | $R_0 = 400$ кПа                             | $R_0 = 194,35$ кПа    |                |               |
| Продольное усилие              | 21,79 т                                     |                       |                |               |
| Изгибающий момент              | 47,61 т·м                                   |                       |                |               |
| Размеры фундамента             | Ширина $b$ , м                              | Длина $l$ , м         | Ширина $b$ , м | Длина $l$ , м |
|                                | 2   | 1,6                   | 2,4            | 2,42          |

С такими размерами фундамента рама была рассчитана в программном комплексе SCAD 21.1.1.

Растягивающие усилия  $P_{\min} < 0$ , возникающие в фундаментной плите, воспринимаются анкерными болтами.

#### Определение нагрузок на расчетную модель

Поперечная рама рассчитана на основные сочетания нагрузок. Нагрузки приняты для Москвы и Московской области [4]:

I ветровой район ( $w_0 = 0,23$  кПа);

III снеговой район ( $S_g = 1,5$  кПа).

Глубина заложения фундамента  $d_{fn} = 1,5$  м, в соответствии со среднестатистической глубиной промерзания по Московской области [1]. Также для возможности сравнения результатов, собственный вес рамы был усреднен для стального и сталежелезобетонного сечения.

Существует несколько моделей оснований [1, 9, 10, 20]:

1. Модель линейно-деформируемого пространства. Согласно этой модели, в каждой точке

поверхности контакта фундамента с основанием, реактивное напряжение прямо приложенной нагрузке в той же точке. То есть осадка грунта происходит только непосредственно под подошвой фундамента, а расположенный сбоку грунт не испытывает осадки.

2. Модель теории фильтрационной консолидации. В простейшем случае теория описывает деформацию грунта во времени, в водонасыщенном состоянии.
3. Модель теории предельно напряженного состояния грунта, учитывающая, что незначительная добавочная сила или уменьшение прочности грунта приводит к потере устойчивости массива грунта.

Для анализа отличий результатов определения перемещений рамы с учетом моделирования совместной ее работы с грунтовым основанием была выбрана модель линейно-деформируемого полупространства. Эта модель наиболее распространена в инженерной практике благодаря своей простоте и возможности использования хорошо разработанного математического аппарата теории упругости.

Модель линейно-деформируемой среды в соответствии с [1, 2] представляется несколькими теориями. Рассмотрим две самые популярные:

- 1) т. Винклера с одним коэффициентом постели;
- 2) т. Пастернака с двумя коэффициентами постели;
- 3) т. Клепикова пространственный учет деформаций грунта.

Коэффициенты постели вычисляются по следующим формулам:

$$C_1 = \left( \int_0^H \frac{dz}{E(z)} \right)^{-1}, \quad (2)$$

$$C_2 = \left( \int_0^H \frac{dz}{E(z)} \right)^{-1} \cdot \int_0^H \frac{1}{E(z)} \cdot \int_0^H G(z) \cdot \int_0^H \frac{dz}{E(z)}, \quad (3)$$

где  $E(z)$ ,  $G(z)$  – соответственно приведенные модули деформации и сдвига на глубине  $z$ . По формуле:

$$E = E_0 \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu) \cdot (1-2 \cdot \nu)}, \quad (4)$$

$$G = \frac{E_0}{2 \cdot (1+\nu)}, \quad (5)$$

и зависят от:

1. Модуля деформации грунта  $E$ .
2. Коэффициента Пуассона  $\nu$ .
3. Сжимаемой толщи грунта  $H_{сж}$ .

Характеристики сталежелезобетонного сечения были подобраны в соответствии с [3].

Коэффициент приведения трубобетонного сечения к стальному:

$$n_r = \frac{R_y}{R_b}, \quad (6)$$

где  $R_y=240$  МПа для стали С255,  $R_b=7,5$  МПа, для бетона В 12,5.

Вычислим основные геометрические характеристики приведенного сечения.

1. Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{red} = A_{st} + \frac{A_b}{n_r}. \quad (7)$$

2. Приведенный момент инерции сечения:

$$Y_{red} = Y_{st} + \frac{Y_b}{n_r}. \quad (8)$$

Жесткости сталежелезобетонного сечения представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Жесткости сталежелезобетонного сечения.

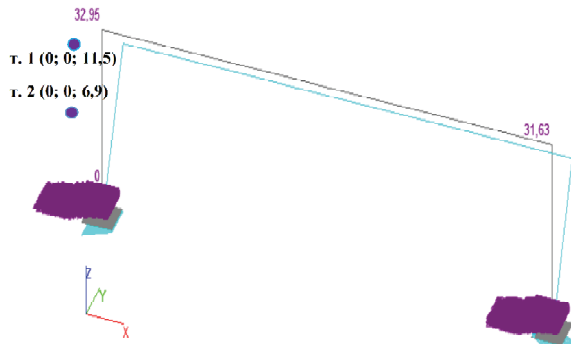
| Жесткость                              | Колонны    | Ригеля     |
|--|------------|------------|
| Продольная $EA_{red}$ , т              | 670 051,37 | 261 790,56 |
| Изгибная $EY_{red}$ , т·м <sup>2</sup> | 19 906,55  | 3 861,43   |

### Анализ результатов расчета

Результатом исследования является отличие перемещений двух точек в горизонтальном и вертикальном направлениях: в верхнем левом узле рамы т. 1 и посередине колонны т. 2 (рис. 6).

Глобальная система координат (ГСК) не совпадает с локальной системой координат (ЛСК) элементов (рис. 7), поэтому для удобства результаты представлены в относительных единицах.

Результаты деформативности рамы из стальных труб и сталежелезобетонных труб представлены в таблице 3.



**Рисунок 6.** Деформируемая схема плоской поперечной рамы.

**Таблица 3.** Результаты деформативности рамы из стальных и сталежелезобетонных труб

| Точка на раме по рис. 6        | Сечение элемента рамы |                     |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------|
|                                | Металл / Трубобетон   | Металл / Трубобетон |
| по оси x:<br>т. 1 (0; 0; 11,5) | 1,78%                 | 1,19%               |
| по оси z:<br>т. 1 (0; 0; 11,5) | 9,76%                 | 10,72%              |
| по оси z:<br>т. 2 (0; 0; 6,9)  | 13,99%                | 14,68%              |

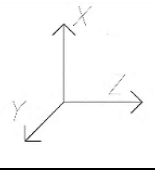
Сравнение перемещений рамы на разных грунтах представлено в таблице 4.

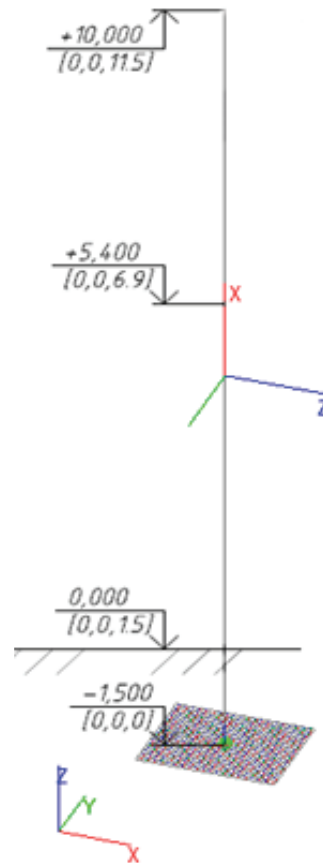
**Таблица 4.** Сравнение перемещений рамы на разных грунтах

|                                | Грунтовое основание              |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                                | Песок / Глина<br>мягкопластичная | Песок / Глина<br>мягкопластичная |
| по оси x:<br>т. 1 (0; 0; 11,5) | 33,04%                           | 33,44%                           |
| по оси z:<br>т. 1 (0; 0; 11,5) | 39,25%                           | 38,59%                           |
| по оси z:<br>т. 2 (0; 0; 6,9)  | 7,24%                            | 6,49%                            |

Сравнительный анализ моделирования грунтового основания представленной моделью линейно-деформируемой среды по т. Винклера и по т. Пастернака представлен в таблице 5.

**Таблица 5.** Сравнительный анализ моделирования грунтового основания по различным теориям

|  | Отличие моделей грунта по т. Винклера ( $C_1$ ) и по т. Пастернака ( $C_1; C_2$ ) в зависимости от его вида |       |
|---|---|-------|
|   | Глинистый грунт   | Песок |
| по оси x:<br>т. 1 (0; 0; 11,5)  | 4,39%   | 5,12% |
| по оси z:<br>т. 1 (0; 0; 11,5)  | 5,02%   | 5,75% |
| по оси z:<br>т. 2 (0; 0; 6,9)   | 1,98%   | 1,49% |



**Рисунок 7.** Фрагмент рамы.

**Выводы:**

1. Изгибная жесткость сталежелезобетонного сечения выше в среднем на 12 %, что положительно сказывается на перемещениях рамы, например для кранового оборудования. Как следствие, можно подобрать меньшее по размерам сечение, что приведет к более экономичному решению каркаса в целом.
2. Песчаный грунт более деформативный в отличие от мягкопластичной глины, вслед-

ствие того, что модуль деформации для песка в 2 раза больше, чем для глины  $E_{\text{песка}} = 3000 \text{ т/м}^3$ ,  $E_{\text{глины}} = 1500 \text{ т/м}^3$ .

3. Отличие по т. Винклера и по т. Пастернака в среднем в пределах 5% ввиду того, что площадь опирания столбчатого фундамента невелика. Следовательно, т. Пастернака рационально использовать для плитных или ленточных фундаментов.

**Литература**

1. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* ; введ. 2017-06-17. – М. : ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016. – 227 с.
2. Леденев, В. В. Основания и фундаменты при сложных силовых воздействиях (опыты) [Текст] : монография в 2 томах. Том 2 / В. В. Леденев. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», 2015. – 288 с.
3. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные [Текст]. Введен 2017-07-01. – М. : ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2017. – 132 с.
4. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* ; введ. 2017-06-04. – М. : Минстрой России, 2016. – 104 с.
5. СП 16.13330.2016 Стальные конструкции [Текст] : актуализированная редакция СНиП II-23-81\* ; введ. 2017-08-28. – М. : ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2018. – 154 с.
6. Беленя, Е. И. Предельные состояния поперечных рам одноэтажных промышленных зданий [Текст] / Е. И. Беленя. – М. : Госстройиздат, 1958. – 123 с.
7. Кудишин, Ю. И. Металлические конструкции [Текст] : учебник / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя. – М. : Академия, 2007. – 675 с.
8. Стрелецкий, Н. Н. Сталежелезобетонные мосты [Текст] / Н. Н. Стрелецкий. – М. : Транспорт, 1965. – 376 с.
9. Клепиков, Л. В. К исследованию совместной работы каркаса и основания [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук / Л. В. Клепиков. – М., 1955. – 22 с.
10. Варечкин, С. А. Исследование совместной работы П-образных стальных рам с песчаным основанием [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Сергей Александрович Варечкин. – Воронеж, 2004. – 171 с.
11. Кузнецов, И. Н. Напряженно-деформированное состояние стальных П-образных рам при

**Reference**

1. SP 22.13330.2016 Soil bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83\* [Text]. M. : FSUE «STANDARTINFORM». 2016. 227 p. (in Russian)
2. Ledenev, V. V. Bases and foundations for complex power effects (experiments) [Text]: monograph in 2 volumes. Volume 2. Tambov: FSBEI HPE «TSTU». 2015. 288 p. (in Russian)
3. SP 266.1325800.2016 Composite steel and concrete structures. [Text]. M. : FSUE «STANDARTINFORM». 2017. 132 p. (in Russian)
4. SP 20.13330.2016 Loads and actions [Text] : Updated version of SNiP 2.01.07-85\*. M. : Ministry of Construction of Russia. 2016. 104 p. (in Russian)
5. SP 16.13330.2016 Steel structures [Text] : Updated version of SNiP II-23-81\*. M. : FSUE «STANDARTINFORM». 2018. 154 p. (in Russian)
6. Belenya, Ye. I. Limit States of cross frames of single-storey industrial buildings [Text]. M. : Gosstroizdat. 1958. 123 p. (in Russian)
7. Kudishin, Yu. I.; Belenya, Ye. I. Metal constructions [Text]. M. : Academy. 2007. 675 p. (in Russian)
8. Streletsky, N. N. Steel-reinforced concrete bridges [Text]. M. : Transport. 1965. 376 p. (in Russian)
9. Klepikov, L. V. On the study of the joint work of the framework and the base [Text] : author's abstract of Ph. D. Thesis. M., 1955. 22 p. (in Russian)
10. Varechkin, S. A. Study of the joint operation of U-shaped steel frames with a sandy base [Text] : Ph.D. Thesis. Voronezh. 2004. 171 p. (in Russian)
11. Kuznetsov, I. N. Stress-strain state of steel U-shaped frames in the presence of base defects [Text] : Rh. D. Thesis. Voronezh. 2009. 200 p. (in Russian)
12. Kikin, A. I.; Sanzharovskiy, R. S.; Trull, V. A. Structures made of steel pipes filled with concrete [Text]. M. : Stroiizdat. 1974. 144 p. (in Russian)
13. Storozhenko, L. I.; Plakhotny, P. I.; Cherny, A. Ya. Calculation of concrete structures [Text]. K. : Budivelnik. 1991. 120 p. (in Russian)
14. Ermolenko, D. A. Volumetric stress-strain state of pipe-concrete elements [Text] : monograph. Poltava : Publisher Shevchenko R. V., 2012. 316 p. (in Russian)

- наличии дефектов основания [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Кузнецов Илья Николаевич. – Воронеж, 2009. – 200 с.
12. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном [Текст] / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль – М. : Стройиздат, 1974. – 144 с.
  13. Расчет трубобетонных конструкций [Текст] / Л. И. Стороженко, П. И. Плахотный, А. Я. Черный. – К. : Будивальник, 1991. – 120 с.
  14. Ермоленко, Д. А. Объемное напряженно-деформированное состояние трубобетонных элементов [Текст] : монография / Д. А. Ермоленко. – Полтава : Издатель Шевченко Р. В., 2012. – 316 с.
  15. Высокоэффективные технологии и комплексные конструкции в строительстве [Текст] : монография / О. Г. Онищенко, С. Ф. Пичугин, В. О. Онищенко, О. В. Семко и др. – Полтава : Формика, 2009. – 404 с.
  16. Hajjar, Jerome F. A distributed plasticity model for cyclic analysis of concrete-filled steel tube beam-columns and composite frames [Текст] / Jerome F. Hajjar, Aleksandr Molodan, Paul H. Schiller // *Engineering Structures*. 1998. Vol. 20, № 4–6. P. 398–412.
  17. Nonlinear analysis axiallyloaded concrete-filled tube columns with confinement effect [Текст] / Hsuan-The Hu, Chiung-Shiann Huang Ming-Hsien Wu [et. al.] // *Journal of Structural Engineering (ASCE)*. 2003. Vol. 129, № 10. P. 1322–1329.
  18. Axial load behavior of stiffened concrete-filled steel columns [Текст] / C. S. Huang, Yeh Y-K., Lie G.-Y. [et. al.] // *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 2002. Vol. 128, № 9. P. 1229–1230.
  19. The calculation of ultimate bearing capacity of concrete filled steel tubular columns under axial and eccentric load [Текст] / Jiang Jia-fen, Tang Guan-zoo, Zhao Bing-quan // *Proceeding of the international speciality conference on concrete filled steel tubular structure harbin*. 1985. P. 67–73.
  20. Теоретические основы механики деформирования и разрушения [Текст] : монография / В. В. Леденёв, В. Г. Однолько, З. Х. Нгуен. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 312 с.
  21. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] : монография / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : Сталь, 2002. – 600 с.
  15. Onishchenko, O. G.; Pichugin, S. F.; Onishchenko, V. O.; Semko, O. V. [and others]. High-performance technologies and complex structures in construction [Text] : monograph. Poltava : Formica. 2009. 404 p. (in Russian)
  16. Hajjar, Jerome F.; Molodan, Aleksandr; Schiller, Paul H. A distributed plasticity model for cyclic analysis of concrete-filled steel tube beam-columns and composite frames [Text]. In: *Engineering Structures*. 1998. Vol. 20, № 4–6. P. 398–412.
  17. Hsuan-The Hu; Chiung-Shiann Huang Ming-Hsien Wu [et. al.]. Nonlinear analysis axiallyloaded concrete-filled tube columns with confinement effect [Text]. In: *Journal of Structural Engineering (ASCE)*. 2003. Vol. 129, № 10. P. 1322–1329.
  18. Huang C. S.; Yeh Y-K.; Lie G.-Y. [et. al.]. Axial load behavior of stiffened concrete-filled steel columns [Text]. In: *Journal of Structural Engineering (ASCE)*. 2002. Vol. 128, № 9. P. 1229–1230.
  19. Jiang Jia-fen; Tang Guan-zoo; Zhao Bing-quan. The calculation of ultimate bearing capacity of concrete filled steel tubular columns under axial and eccentric load [Text]. In: *Proceeding of the international speciality conference on concrete filled steel tubular structure harbin*. 1985. P. 67–73.
  20. Ledenev, V. V.; Odnolko, V. G.; Nguyen, Z. Kh. Theoretical foundations of deformation and fracture mechanics [Text]: monograph. Tambov : FSBEI HPE «TSTU». 2013. 312 p. (in Russian)
  21. Perelmuter, A. V.; Slivker, V. I. Design models of structures and the possibility of their analysis [Text] : monograph. K. : Steel. 2002. 600 p. (in Russian)

**Гаранжа Игорь Михайлович** – кандидат технических наук, доцент департамента строительства ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов (РУДН)». Научные интересы: напряженно-деформированное состояние, эксплуатационная надежность и новые конструктивные формы элементов стальных и сталежелезобетонных конструкций с применением прогрессивных материалов.

**Сахибгареева Диана Руслановна** – студент НИУ «Московский государственный строительный университет». Научные интересы: действительная работа стальных и сталежелезобетонных рамных конструкций совместно с грунтовым основанием.



**Танасогло Ирина Викторовна** – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие общей методики динамических расчетов элементов строительных конструкций и поиск рациональных способов гашения колебаний.

**Гаранжа Ігор Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент департаменту будівництва ФДБОУ ВО «Російський університет дружби народів (РУДН)». Наукові інтереси: напружено-деформований стан, експлуатаційна надійність та нові конструктивні форми сталевих і сталеалюмінієвих конструкцій із застосуванням прогресивних матеріалів.

**Сахібгареева Діана Русланівна** – студент НДУ «Московський державний будівельний університет». Наукові інтереси: дійсна робота сталевих та сталеалюмінієвих рамних конструкцій спільно з ґрунтовою основою.

**Танасогло Ірина Вікторівна** – магистрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій та пошук раціональних способів гашення коливань.

**Garanzha Igor** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Civil Engineering Department, People's Friendship University of Russia (RUDN). Scientific interests: stress-strain state, operational reliability and new structural forms of elements of steel and steel-reinforced concrete structures using progressive materials.

**Sakhibgareeva Diana** – student, Moscow State National Research University of Civil Engineering. Scientific interests: actual work of steel and steel-reinforced concrete frame structures together with a soil base.

**Tanasoglo Irina** – Master's student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of the general dynamic design technique of building structure elements and search for the rational ways of vibration damping.