

УДК 625.154

**М. В. Быкодеров<sup>а</sup>, Е. С. Кашина<sup>б</sup>, В. В. Габова<sup>б</sup>, В. Г. Поляков<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»*

<sup>б</sup> *Волгоградский государственный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СВАЙНОГО ПОЛЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПО СХЕМЕ УСЛОВНОГО ФУНДАМЕНТА**

В современных условиях проектирования зданий и сооружений прогноз осадок оснований продолжает оставаться одной из наиболее важных задач. В статье выполнен обзор отечественной и зарубежной литературы по проектированию свайных фундаментов и приведена методика для расчета осадки по второй группе предельных состояний для условного фундамента. Определена область применения осадки такого фундамента. Выполнен расчет по СП по определению осадки условного фундамента в традиционном расчете и в программном комплексе «ЛИРА СОФТ».

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** свайное поле, условный фундамент, осадка, предельное состояние.

Фундамент является важнейшей конструкцией любого здания или сооружения [1]. Большое количество уже возведенных и новых зданий проектируются на свайных полях. Преимущества использования свайных фундаментов трудно переоценить, они дают возможность реализовывать самые разные задумки проектирования [2, 3] на сложных грунтовых основаниях. За рубежом использование свайных полей также является актуальной тематикой исследования и занимает высокие позиции в проектировании [4—11].

При возведении жилых многоэтажных зданий распространено использование плитных фундаментов, однако часто встречаются расчетные случаи, где осадка здания превышает максимально допустимое значение [12, 13]. В этих ситуациях проблема преодолевается принятием нового решения по конструированию фундамента, а именно свайного фундамента, в состав которого входит ростверк и свайное поле.

При проектировании свайного поля до сих пор почти невозможным является создание математически строгой теории надежности расчета, т. к. у грунтов могут изменяться физико-механические свойства, возможны проявления стохастических процессов, которые сложно учесть при создании расчетной модели основания. Поэтому при выполнении расчетов оснований используется большое количество разработанных инженерных методик. Фундамент рассчитывается по двум группам предельных состояний. По первой группе определяются несущая способность, по второй определяются деформации, а именно — осадка от действующей вертикальной нагрузки.

В данной статье представлено исследование и пояснение к методике расчета свайного фундамента как условного фундамента. Анализ методики расчета реализован на свайном фундаменте 24-этажного жилого здания. Расчет по определению осадки условного фундамента выполнялся в традиционном «ручном» расчете по нормативным документам и в ПК «ЛИРА СОФТ».

Главной причиной появления осадки является физический процесс уплотнения массива грунта основания под весом здания. В связи с вышесказанным одним из немаловажных расчетов свайных фундаментов является расчет

осадки. В СП 24.13330.2021<sup>1</sup> строго прописаны требования к выполнению данного расчета. Определение осадок свайных фундаментов выполняется по второй группе предельных состояний (рассчитывается по нормативным сочетаниям нагрузкам), модель грунта расчетной схемы должна быть смоделирована как линейно-деформируемая среда. Однако при надлежащем обосновании расчеты деформаций свайных фундаментов допускается моделировать в нелинейной постановке с использованием апробированных моделей грунта и численных методов расчета.

Осадка по тому же СП может быть определена несколькими расчетными случаями: осадка одиночной висячей сваи, осадка свайного куста, осадка свайного поля как условного фундамента и комбинированного свайно-плитного фундамента — для всех случаев действуют предельные значения:

$$S \leq S_u, \quad (1)$$

где  $S$  — совместная деформация основания и сооружения;  $S_u$  — предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое в соответствии с требованиями пп. 5.6.46—5.6.50 СП 22.13330.2016<sup>2</sup>.

Использование схемы расчета условного фундамента применяется для свайных полей из висячих забивных свай и для свай без выемки грунта, которые опираются на песчаные и глинистые инженерно-геологические слои с показателем текучести меньше 0,5. При выполнении данного расчета обязательным требованием к свайному полю является однообразие свай по геометрическим характеристикам и конструктивным особенностям, также считается, что фундамент опирается на естественное основание.

На первом этапе исследования выполнен расчет условного фундамента «вручную» в соответствии с СП 24.13330.2021 пп.7.4.8—7.4.13. Сваи выполняются буронабивными с применением обсадных труб и с уширением пяты, диаметр уширения принят 1300 мм. Осадка большего свайного поля подсчитывается:

$$S = S_{ef} + \Delta S_p + \Delta S_c, \quad (2)$$

где  $S_{ef}$  — осадка условного фундамента;  $\Delta S_p$  — дополнительная осадка за счет продавливания свай;  $\Delta S_c$  — дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай.

Расчет осадки условного фундамента выполняется в соответствии с п. 7.4.7 СП 24.13330.2021, основные требуемые характеристики для проведения расчета: площадь фундамента, количество свай (рис. 1). Нагрузка от вышележащих конструкций приложена в центре фундамента на уровне оголовка свай. Среднее деление под подошвой определяется как сумма вертикальных нагрузок и веса свай, деленных на ранее известную заданную площадь. Осадка определяется методом послойного суммирования деформаций

<sup>1</sup> СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. СНиП 2.02.03-85. М.: Минстрой России, 2022. 121 с. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/142011>.

<sup>2</sup> СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. М.: Минстрой России, 2023. 228 с. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627>.

линейно-деформируемого основания с условием ограничения сжимаемой толщи по СП 22.13330.2016 и составляет:

$$S_{ef} = 0,093 \text{ м.}$$

Важно отметить, что вертикальное нормальное напряжение учитывается только от действия нагрузки, действующей на свайный фундамент, вес грунта в пределах условного фундамента не учитывается.

Внешняя нагрузка на ячейку равна:

$$P = 0,79 pa^2.$$

В случае, если грунты основания имеют одинаковые модули деформации и коэффициент Пуассона, осадка продавливания равна:

$$\Delta S_{p1} = \frac{\pi(1-\nu_2^2)P}{4E_2}(a-1,5d), \quad (3)$$

где  $d$  — диаметр сваи, принимается равным 620 мм,  $a$  — расстояние между сваями — 2,3 м.

$$\Delta S_{p0} \approx \frac{(1-\nu_2^2)(1-k)P}{dE_2}, \quad (4)$$

где  $k = \frac{d}{a}$  — для свай круглого сечения.

В общем случае формула принимает вид:

$$\Delta S_p = \frac{\Delta S_{p1}}{\frac{\Delta S_{p1}}{\Delta S_{p0}}(1 - \frac{E_1}{E_2}) + \frac{E_1}{E_2}}, \quad (5)$$

Осадку за счет сжатия ствола допускается определять по формуле:

$$\Delta S_c = \frac{P(l-a)}{EA}, \quad (6)$$

где  $P$  — действующая суммарная нагрузка по оси  $Z$  от всего здания на конструкцию фундамента, т.

Инженерно-геологический слой, который является основанием для свай, имеет коэффициент Пуассона  $\nu_2 = 0,35$ , а также усредненный модуль деформации  $E = 1674,6 \text{ т / м}^2$ .

При суммировании всех слагаемых по формуле (2) получаем, мм:

$$S = S_{ef} + \Delta S_p + \Delta S_c = 0,093 + 0,0265 + 0,0023 = 0,1218.$$

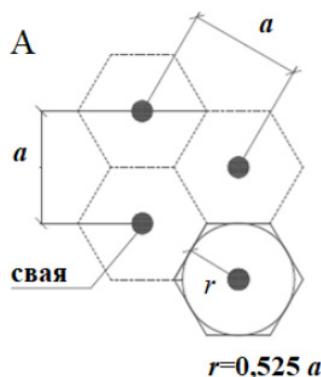


Рис. 1. Расчетная схема метода ячейки

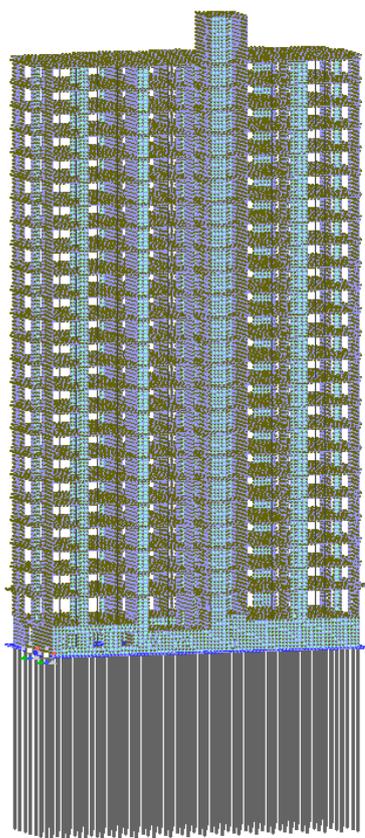


Рис. 2. Расчетная схема здания

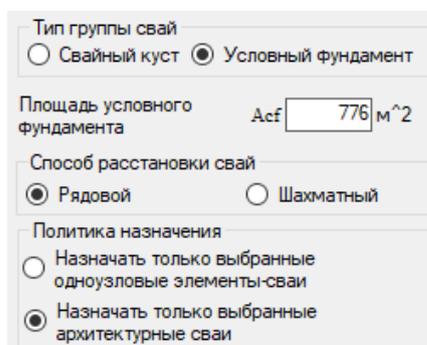


Рис. 3. Характеристики условного фундамента

После расчета выполнен переход в «Анализ и документирование», где появилась возможность посмотреть осадку. Результат расчета осадки представлен на рис. 5. Осадка изменяется в диапазоне от 122,76 до 124,24 мм. Расхождение между ручным расчетом и расчетом в программном комплексе составляет ~ 1,38 %, что показывает их соответствие. Также есть возможность выполнить просмотр несущей способности сваи, которая находится в диапазоне от 401,74 тс до 444,51 тс (рис. 6).

На втором этапе выполняется расчет условного фундамента в ПК «ЛИРА СОФТ». Расчетная схема здания выполнена с грунтовым основанием для реализации системы «основание — сооружение» [14, 15] и представлена на рис. 2. Сваи заданы 57 одноузловыми конечными элементами (далее — КЭ) с определенными геометрическими и жесткостными характеристиками: длина сваи 24 м, диаметр 620 мм,  $R_x = 1151,65$  тс·м;  $R_y = 1151,65$  тс·м;  $R_z = 1190,1$  тс·м;  $R_{ix} = 5907,4$  тс·м,  $R_{iy} = 5907,4$  тс·м,  $R_{iz} = 2860,8$  тс·м. Для дальнейшего уточнения действующей нагрузки на каждую из свай изначально задавалась приближительная нагрузка 250 т, которая далее была пересчитана.

Свайный фундамент задан в расчетной схеме с помощью условного фундамента. Его площадь принимается равной 776 м<sup>2</sup>. В программном комплексе выбирается способ расстановки свай, который необходим для определения осадки продавливания по п. 7.4.8 СП 24.13330.2021 (рис. 3). Расчетные характеристики грунтов показаны на рис. 4, по которым заданы 5 скважин в подсистеме «ГРУНТ».

В подсистеме «Грунт» выполняется расчет по 2 методу (модель основания Винклера — Фусса). После первого приближения необходимо пересчитать действующую вертикальную нагрузку на сваи с помощью функции отпора грунта, после 3-го расчета процент изменения нагрузки стал нулевым и можно приступать с анализу полученных результатов.

После расчета выполнен переход в «Анализ и документирование», где появилась возможность посмотреть осадку.

№ ИЭ	Усл. обоз.	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м <sup>3</sup>		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, доли	Показатель текучести	Вода	Число пластичности	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м <sup>2</sup>		Угол внутреннего трения, °	
							γ <sub>1</sub>	γ <sub>II</sub>							c <sub>I</sub>	c <sub>II</sub>	φ <sub>I</sub>	φ <sub>II</sub>
1		Насыпной	<input checked="" type="checkbox"/>		1000	0,30	1,91	1,91	5	0,16	0,200	<input checked="" type="checkbox"/>	10,00	0,680	0,001	0,001	0,001	0,001
2		Суглинок с прослойки суглесей	<input type="checkbox"/>		1290	0,30	1,75	1,75	5	0,10	0,000	<input type="checkbox"/>	9,00	0,380	0,001	7,4	24	26
3		ПАП	<input type="checkbox"/>		2940	0,30	1,91	1,91	5	0,25	0,500	<input type="checkbox"/>	13,00	0,880	36	42,6	28	29
4		Глина	<input type="checkbox"/>		1520	0,42	1,86	1,86	5	0,31	0,260	<input type="checkbox"/>	35,00	0,900	34,4	39,1	27	18
5		Песок	<input type="checkbox"/>		2800	0,30	1,94	1,94	5	0,28	0,150	<input type="checkbox"/>	0,00	0,990	0,001	0,001	25	28
6		ПАПБ	<input type="checkbox"/>		2940	0,30	1,91	1,91	5	0,26	0,550	<input type="checkbox"/>	13,00	0,880	18,9	36,7	27	28

Рис. 4. Таблица с физико-механическими свойствами грунтов основания

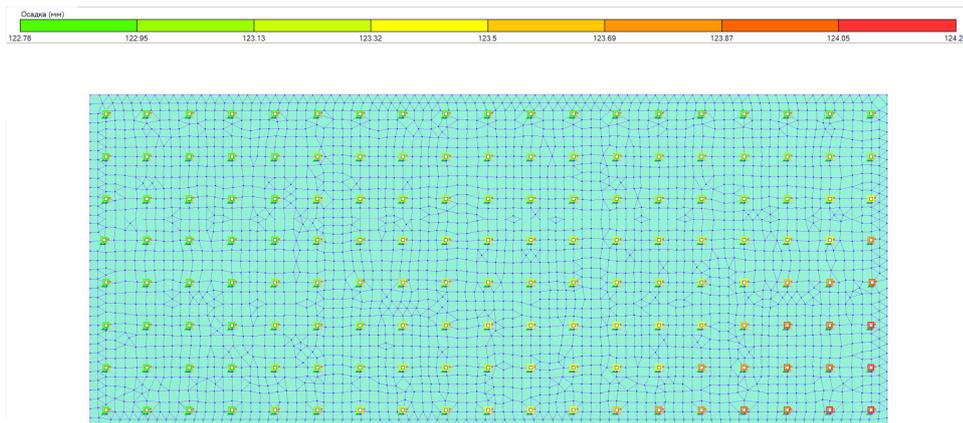


Рис. 5. Осадка от сочетания нормативных усилий

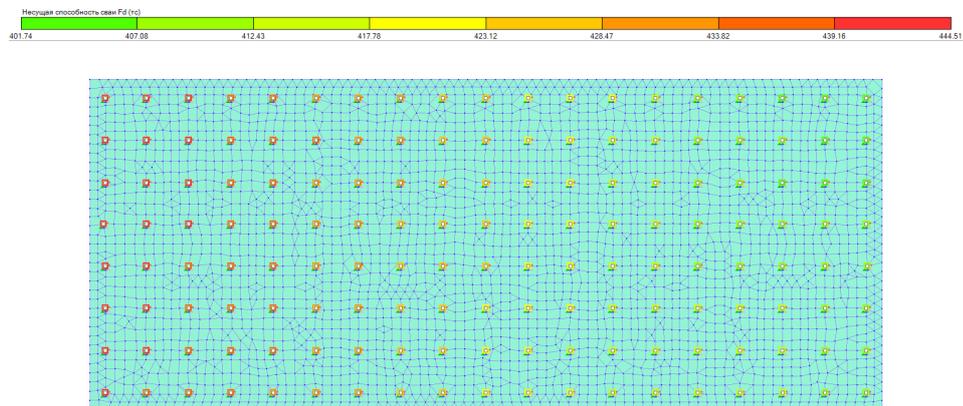


Рис. 6. Мозаика несущей способности свай

### Выводы

При проектировании фундаментов зданий или сооружений необходимо строго соблюдать предписания нормативно-технической базы для обеспечения надежности и безопасности будущего объекта. В работе рассмотрена методика по определению осадки для условного фундамента и выполнена расчетная схема в ПК «ЛИРА СОФТ» в системе «основание — здание». При выполнении сравнительного анализа двух вариантов расчетов выявлено минимальное расхождение в 1,38 %, которое доказало корректность проведенных расчетов. Осадка здания по расчетам не превышает максимально допустимых 150 мм по СП 22.13330.2016 (приложение Г, табл. Г.1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сорочан Е. А.* Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : Стройиздат, 1985. 479 с.
2. *Шулятьев О. А.* Основные принципы расчета и конструирования плитных и свайных фундаментов высотных зданий: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2019. 352 с.
3. *Харин Ю. И., Махова С. И.* Оптимальные варианты применения свайных фундаментов в Волгограде // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 45—53. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_45.
4. *Katzenbach R., Bachmann G., Gutberlet C.* Deep Foundations Combined Pile-Raft Foundations of Frankfurt High-Rise Buildings. Darmstadt : Technische Universität Darmstadt, 2005. 18 p.
5. *Guo W. D.* Theory and practice of pile foundations. Boca Raton, FL : CRC Press, 2013. 565 p.
6. *Liang F., Song Z., Guo W. D.* Group interaction on vertically loaded piles in saturated poroelastic soil // Computers and Geotechnics. 2014. Vol. 56. Pp. 1—10.
7. *Chen K.* On the Influence of Pile Foundation Settlement of Existing High-Rise Buildings on the Surrounding Buildings // Advances in Civil Engineering. 2021. Vol. 2021. Article ID 5560112. 8 p. DOI: 10.1155/2021/5560112.
8. *Mandolini A., Russo G., Viggiani C.* Pile Foundations: Experimental Investigations, Analysis and Design // Proc. of the 16th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2005. Osaka : Millpress, 2005. Pp. 177—213.
9. *Mangushev R. A., Nikitina N. S.* Evaluation and analysis of bearing capacity of bored piles and deep-laid pile-barrette for high-rise building on loose ground based on calculations and field tests // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Vol. 14. Iss. 2. Pp. 109—116.
10. *Safin D. R.* Experimental studies of a weak clay base reinforced with sand piles // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. Art. 032020 DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032020.
11. *Elsawy M. B. D., El-Garhy B.* Performance of Granular Piles-Improved Soft Ground Under Raft Foundation: A Numerical Study // Int. J. of Geosynth. and Ground Eng. 2017. Vol. 3. P. 36.
12. *Габова В. В., Быкодеров М. В., Кашина Е. С.* Анализ взаимного влияния многоэтажного жилого дома и близкорасположенного подземного автопаркинга // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 90—98. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_2\_90.
13. *Скибин Г. М., Дереховский В. М.* Эффективность использования несущей способности свай при формировании свайного поля плитно-свайного фундамента 21-этажного жилого дома // Construction and Geotechnics. 2023. Т. 14. № 3. С. 24—36. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.3.03.
14. Сравнительный анализ результатов расчета системы «здание — основание», представленной в виде слоистой модели / В. А. Пшеничкина, С. С. Рекунов, С. Ю. Иванов, А. С. Жиденко, Махмеддин Чанчан, С. Хамиси // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 43—53.
15. *Палуанов Д. Т., Нурматов Б. А.* Исследование деформаций системы «сооружение — основание» при действии статических нагрузок // Бюллетень науки и практики. 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-deformatsiy-sistemy-sooruzhenie-osnovanie-pri-deystvii-staticheskikh-nagruzok>.

© Быкодеров М. В., Кашина Е. С., Габова В. В., Поляков В. Г., 2025

Поступила в редакцию  
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

*Быкодеров М. В., Кашина Е. С., Габова В. В., Поляков В. Г.* Исследование методики расчета свайного поля многоэтажного жилого дома по схеме условного фундамента // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 21—27. DOI: 10.35211/18154360\_2025\_1\_21.

Об авторах:

**Быкодеров Максим Викторович** — канд. техн. наук, эксперт по разделу «Конструктивные решения», Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации» (АУ ЯНАО «Управление ГЭПД»); bmvwww@gmail.ru

**Кашина Екатерина Сергеевна** — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; keit\_cat08@mail.ru

**Габова Виктория Викторовна** — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

**Поляков Владимир Геннадиевич** — д-р экон. наук, проф., зав. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polana58@mail.ru

**Maksim V. Bykoderov<sup>a</sup>, Ekaterina S. Kashina<sup>b</sup>, Victoria V. Gabova<sup>b</sup>,  
Vladimir G. Polyakov<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> AU YANAO “Management GEPD”

<sup>b</sup> Volgograd State Technical University

#### INVESTIGATION OF THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE PILE FIELD OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING ACCORDING TO THE SCHEME OF A CONDITIONAL FOUNDATION

In modern conditions of designing buildings and structures the prediction of foundation settlement continues to be one of the most important tasks. The article reviews the domestic and foreign literature on the design of pile foundations and provides a methodology for calculating the settlement of the second group of limit states for a conditional foundation. The area of application of such foundation settlement is determined. The calculation according to SP for determining the settlement of the conditional foundation in the traditional calculation and in the programme complex “LIRA SOFT” is carried out.

**Key words:** pile field, conditional base, laying, limiting state.

*For citation:*

Bykoderov M. V., Kashina E. S., Gabova V. V., Polyakov V. G. [Investigation of the methodology for calculating the pile field of a multi-storey residential building according to the scheme of a conditional foundation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 1, pp. 21—27. DOI: 10.35211/18154360\_2025\_1\_21.

*About authors:*

**Maksim V. Bykoderov** — Candidate of Engineering Sciences, Autonomous institution of the Yamal-Nenets autonomous district “Management of state expertise of project documentation” (AU YANAO “Management GEPD”); bmvwww@gmail.ru

**Ekaterina S. Kashina** — Master's Degreee student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; keit\_cat08@mail.ru

**Victoria V. Gabova** — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

**Vladimir G. Polyakov** — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polana58@mail.ru