

Анализ различных методов расчёта осадок плитного фундамента с учётом взаимного влияния

Д.В. Веремеев¹, А.А. Тимофеев², С.А. Сазонова², Д.В. Вдовин²

¹Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

²Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В условиях рыночной экономики требуется производить расчет фундаментов такими методами, которые будут удовлетворять требованиям первого и второго предельного состояния с наименьшими запасами, в целях экономии. В данном исследовании производился анализ осадок, полученных численными и аналитическими методами. Аналитический расчёт представлен методом угловых точек по модели в виде линейно-деформируемого полупространства и методом послойного суммирования, представленного в виде моделей модифицированного Пастернака, Винклера-Фусса, Пастернака. Численный метод представлен методом конечных элементов, реализованным в программных комплексах ПК «Лира-САПР» и ПК «PLAXIS 3D». В итоге было получено, что минимальное расхождение абсолютной осадки по методу угловых точек, в сравнении с аналитическим методом по моделям Винклера-Фусса, Пастернака, модифицированного Пастернака составляет, соответственно, 9.04 %, 9.04 %, 53.38 %, а в сравнении с численным методом, реализованным в ПК «Лира-САПР» и ПК «PLAXIS 3D» составляет 10.49 % и 0.52%, соответственно. Наибольшую точность в сравнении с методом угловых точек показали аналитические расчёты методом послойного суммирования в постановке Винклера-Фусса и Пастернака, а численным методом расчёта - произведённые ПК «PLAXIS 3D».

Ключевые слова: геотехника, основания и фундаменты, «Лира-САПР», система «Грунт», «PLAXIS 3D», осадка фундамента, метод угловых точек, плитный фундамент, взаимное влияние фундаментов, численный метод, аналитический метод, метод конечных элементов.

В настоящий момент существует множество способов расчёта взаимного влияния осадок фундаментов, но именно метод угловых точек рекомендуют в нормативных документах. Данный метод реализован в наиболее массовых автоматизированных программных комплексах (ПК), позволяющих ускорить процесс инженерного расчёта. Одним из примеров таких программных комплексов является система «Грунт», представленная в виде модуля ПК «Лира-САПР». В системе «Грунт» реализованы такие аналитические способы расчёта, как метод послойного суммирования, представленный в виде моделей Винклера-Фусса, Пастернака и модифицированного Пастернака. Также возможно производить анализ

осадки фундаментов в численных моделях, основанных на методе конечных элементов и реализованных, к примеру, в таких программных комплексах как ПК «Ли́ра-САПР» и ПК «PLAXIS 3D». Исходя из этого, целью данного исследования является сравнение результатов расчетов осадок, полученных методом угловых точек и иными методами, представленными в различных программных комплексах.

Проблема учёта дополнительной осадки от рядом расположенных зданий рассматривалась в статьях Мангушева Р.А. [1,2]. Работой плитных фундаментов занимались такие специалисты, как Глек Д.Н. [3] и Субботин А.И. [4]. Неравномерность осадок и их влияние на вышележащие конструкции рассматривается в работах Голикова А.В. [5] и Сорокина Е.Н. [6]. Анализом численных и аналитических методов расчёта занималась Барина А.В. [7] и Башинская О.Ю. [8]. В связи с возможностью возникновения стихийных бедствий, требуется учёт больших деформаций оснований, что описано в статье Zhang X. [9]. Разработкой экспериментальных фундаментов занимался Yang Z. [10].

В данном исследовании были использованы инженерно-геологические условия, представленные на рис. 1.

№ ИГЭ	Усл. обозн.	Наименование грунта	Цвет	Модуль деформации, кН/м ²	Кэф-фици-ент Пуас-сона	Удель-ный вес грунта, кН/м ³	Кэффици-ент пере-хода ко 2 модулю де-формации	Природ-ная влаж-ность, доли	Показа-тель теку-щести IL	Вода Лёсс	Кэффи-циент порис-тости e	Удельное сцепление Rc, кН/м ²	Угол внутрен-него трения Fi, °	Предельное напряжение растяжения Rs, кН/м ²
1		Суглинок легкий		8600	0.35	17.2	5	0.11	0.36		0.755	25	24	3.92266
2		Песок мелкий		14100	0.3	17	5	0.05			0.65	4	33	0.196133
3		Супесь полутве		19300	0.3	18.5	5	0.1	1.1		0.72	24	33	1.56906
4		Суглинок полутве		26100	0.35	19	5	0.15	0.09		0.7	34	34	3.92266

Рис. 1 – ИГЭ

Глубины залегания инженерно-геологических элементов (ИГЭ) составляют: 1) 1.85 м; 2) 14.94 м; 3) 18.61 м; 4) 26.31 м.

Также, за основу были взяты плитные фундаменты размером 14.4x30.8 м и 15x31 м при глубине заложения 2 и 3 м соответственно, а также равномерно-распределенной нагрузки на фундаменты, равной 152 кПа.

По данным, представленным ранее, были разработаны расчётные модели для рядом расположенных фундаментов в ПК «PLAXIS 3D» и ПК «Ли́ра-САПР» с последующим переносом в систему «Грунт». Для получения данных были приняты контрольные точки, А и Б, показанные на рис. 2.

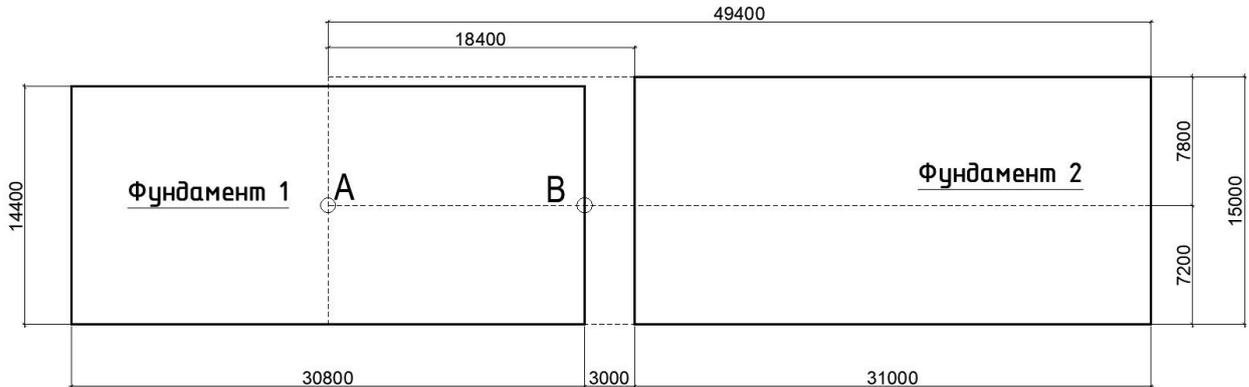


Рис. 2. – Схема расположения контрольных точек А и Б.

После выполнения серии расчетов, в целях сбора большего числа данных для анализа, были получены осадки, с учётом и без учета взаимного влияния фундаментов (далее соответственно S2 и S1), и разница осадок Sr. Так, после расчёта в системе «Грунт», были получены изолинии, представленные на рис. 3 и значения осадок в контрольных точках, представленные в таблице 1 и 2, где метод 1 и 2, соответственно, метод Винклера-Фусса и Пастернака, а метод 3 - модифицированного Пастернака.

S1)

S2)

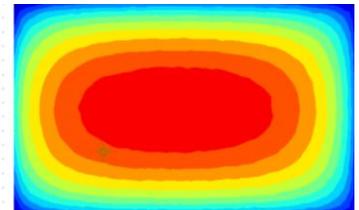
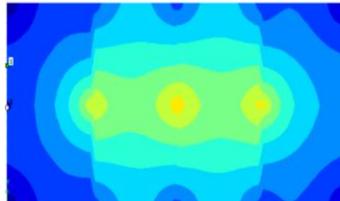
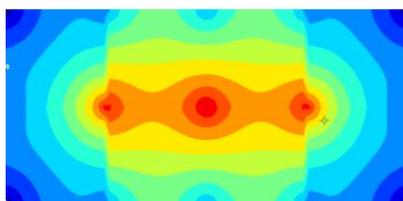


Рис. 3. – Аналитическая постановка в системе «Грунт»

Таблица 1. Расчёт методом 1 и 2

Точка	S1	S2	Sr
А	49.966 мм	50.535 мм	0.569 мм
Б	13.507 мм	25.280 мм	11.774 мм

Таблица 2. Расчёт методом 3

Точка	S1	S2	Sr
А	27.918 мм	28.224 мм	0.306 мм
Б	7.180 мм	12.283 мм	5.103 мм

Был произведён расчёт осадок методом угловых точек (МУТ) по модели в виде линейно-деформируемого полупространства при помощи программы «Microsoft Office Excel 2007» по итогу которых были получены данные, представленные в таблице 3, и выведен график для точки В, представленный на рисунке 4, где $\sigma_{zр}$ и $\sigma_{zр.общ}$ напряжение в грунте без учёта взаимного влияния и с учётом, соответственно.

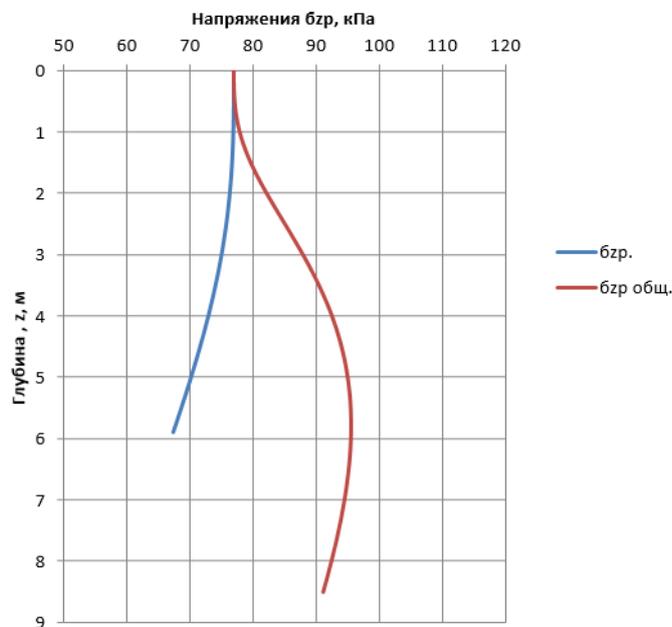


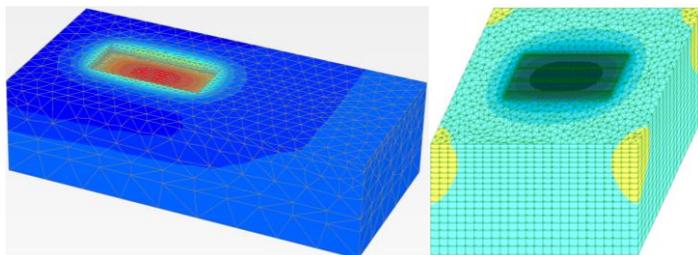
Рис. 4. – Распределение напряжений по глубине методом угловых точек

Таблица 3. Расчёты по МПС и МУТ

Точка	S1	S2	Sr
А	59.849 мм	60.539 мм	0.690 мм
Б	13.781 мм	27.793 мм	14.011 мм

Были произведены и численные расчёты осадки в ПК «Лири-САПР» КЭ 262 и ПК «PLAXIS 3D» методом Кулона-Мора, представленные на рис. 5. Значения осадок, полученных при расчете методом конечных элементов, представлены в таблице 4 и 5.

S1)



S2)

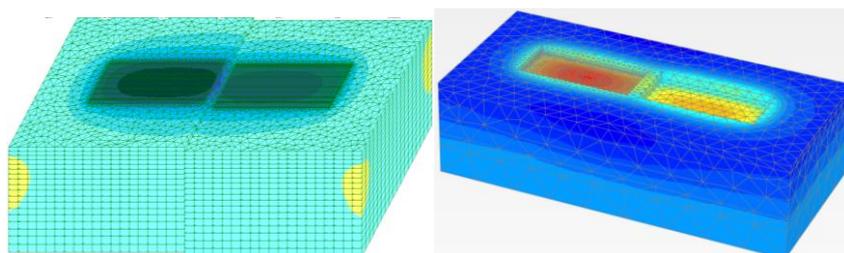


Рис. 5. – Численная постановка по МКЭ

Таблица 4. Расчёты по МКЭ в ПК «Лира-САПР»

Точка	S1	S2	Sr
А	34.177 мм	34.362 мм	0.185 мм
Б	22.984 мм	30.707 мм	7.724 мм

Таблица 5. Расчёты по МКЭ в ПК «PLAXIS 3D»

Точка	S1	S2	Sr
А	55.168 мм	60.224 мм	5.056 мм
Б	21.227 мм	30.775 мм	9.548 мм

Сравним процент расхождения значений осадки, полученных различными моделями расчёта относительно базовых значений МУТ, и сведём в таблицу 6. Промаркируем значения, наиболее приближенные к базовым – зелёным цветом, средне отклоняемые – желтым цветом, сильно отклоняющиеся – красным цветом.

Таблица 6.

Процент расхождения методов расчёта относительно МУТ.

Тип осадки	Точка	Метод 1 и 2	Метод 3	ПК «Лира-САПР»	ПК «PLAXIS 3D»
S1	А	16.51 %	53.35 %	42.90 %	7.82 %
	Б	1.99 %	47.90 %	66.78 %	54.03 %
S2	А	16.53 %	53.38 %	43.24 %	0.52 %
	Б	9.04 %	55.81 %	10.49 %	10.73 %

По итогу анализа данных, представленных в таблице 6, методы 1 и 2, реализованные в системе «Грунт» ПК «Ли́ра-СА́пр», а также расчёт численным методом в ПК «PLAXIS 3D», показали наиболее близкие значения относительно метода угловых точек (МУТ).

Вывод

В ходе исследования произведены расчёты в численной постановке в ПК «Ли́ра-СА́пр» и ПК «PLAXIS 3D» и в аналитической постановке методом послойного суммирования в виде моделей Винклера-Фусса, Пастернака, модифицированного Пастернака, а также методом угловых точек по модели в виде линейно-деформируемого полупространства.

В итоге анализа полученных значений осадок, наиболее точными расчётными моделями в сравнении с методом угловых точек, рекомендованным СП 22.13330, являются модели Винклера-Фусса и Пастернака при аналитической постановке, а также расчёт по модели Кулона-Мора в ПК «PLAXIS 3D» в численной постановке задачи. Хочется также отметить, что при численном расчете методом конечных элементов в ПК «Ли́ра-СА́пр» КЭ 262 расчёт, вероятно, производится по модели модифицированного Пастернака.

Литература

1. Скворцов К.Д., Мангушев Р.А. Учет влияния деформаций шпунтовых ограждений котлованов на дополнительные осадки зданий окружающей застройки // Вестник гражданских инженеров. 2022. №5(94). С. 61-68. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-5-61-68.

2. Мангушев Р.А., Конюшков В.В., Кондратьева Л.Н. Методика расчета технологической осадки основания фундаментов зданий соседней застройки при устройстве котлованов // Жилищное строительство. 2019. № 9. С. 3-11. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-9-3-10.

3. Глек Д.Н., Белаш В.В., Шеина С.Г. Исследование возможности возведения строительных объектов на плитных фундаментах мелкого заложения при реконструкции застройки города Ростов-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3964.

4. Субботин А. И. Расчет осадки фундаментов больших площадей с учетом ограниченной распределительной способности грунтов основания // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 54(73). С. 43-51.

5. Голиков А. В., Маликова В.В., Якимив П.В. Оценка влияния неравномерных осадок фундаментов на каркас стальных этажерок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 1(86). С. 5-17.

6. Сорокина Е.Н., Леонова А.Н. Анализ результатов численного моделирования конструкций пролетного строения // Инженерный вестник Дона. 2020. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6332

7. Барина А.В., Веремеев Д.В. Сравнительный анализ осадки фундамента по результатам расчетов аналитическим методом и методом конечных элементов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2022. Т. 1. С. 188-194.

8. Барабаш М.С., Грабовский А.Л., Башинская О. Ю. Методы численного моделирования и расчета осадки здания// International journal for computational civil and structural engineering. 2015. № 11(2). pp. 69-78.

9. Yin Z.-yu, Jin Y.-fu, Zhang X. Large deformation analysis in geohazards and geotechnics // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2021. Vol. 22. № 11. pp. 851–855. DOI: 10.1631/jzus.A21LDGG1

10. Yang Z. Experimental study on sedimentation characteristics of foundation piles under Super-Large Tonnage Static Load Test // IOP Conference

Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 300. № 2. p. 022011. DOI: 10.1088/1755-1315/300/2/022011.

References

1. Skvorcov K.D., Mangushev R.A. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2022. № 5 (94). pp. 61-68. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-5-61-68.
2. Mangushev R.A., Konyushkov V.V., Kondrat'eva L.N. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2019. № 9. pp. 3-11. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-9-3-10.
3. Glek D.N., Belash V.V., Sheina S.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3964.
4. Subbotin A. I. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2018. №54(73). pp. 43-51.
5. Golikov A. V., Malikova V.V., Yakimiv P.V. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2022. № 1 (86). pp. 5-17.
6. Sorokina E.N., Leonova A.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6332
7. Barinova A.V., Veremeev D.V. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2022. T. 1. pp. 188-194.
8. Barabash M.S., Grabovskij A.L., Bashinskaya O. Yu. International journal for computational civil and structural engineering. 2015. № 11(2). pp. 69-78.
9. Yin Z.-yu, Jin Y.-fu, Zhang X. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2021. Vol. 22. № 11. pp. 851–855. DOI: 10.1631/jzus.A21LDGG1
10. Yang Z. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 300. № 2. p. 022011. DOI: 10.1088/1755-1315/300/2/022011.