
Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных по напряженно-деформированному состоянию опытного котлована

И.М. Юдина, Д.С. Щербань, А.Р. Трошкина, В.С. Кузнецова

Московский государственный строительный университет, Москва

Аннотация: В статье приводится сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных в результате проведения полевых испытаний (разработка котлована), с данными численного расчета. Математическое моделирование эксперимента выполнялось с помощью программного комплекса Plaxis, по модели пластически упрочняющегося грунта. Основная задача состояла в том, чтобы полученные данные по разуплотнению грунтов основания котлована сравнить с расчетными деформациями и проанализировать полученные результаты. Задача решалась в соответствии с экспериментальными данными в двух постановках: в первом случае рассматривался вариант с наклонными откосами бортов котлована; во втором - решалась задача с вертикальными откосами. В результате расчета получены и проанализированы данные по деформациям грунтового массива по двум выбранным схемам. Максимально хорошая сходимость результатов расчета с опытными данными получилась для котлована с наклонными откосами, что соответствовало экспериментальной постановке задачи. Для случая с вертикальными откосами результаты деформаций разуплотнения дна котлована получились в два раза меньше, что соответствует выводу о том что количественные результаты деформирования как основания котлована, так и его верхней бортовой части непосредственно зависят от угла заложения откоса.

Ключевые слова: Опытный котлован, экспериментальные данные, численный расчет, деформации разуплотнения, откосы котлована, результаты расчета.

В статье выполнен сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных в результате разработки опытного котлована, с результатами численного расчета, выполненного в программном комплексе Plaxis (модель пластически упрочняющегося грунта) [1]. Целью исследования являлись данные по разуплотнению грунтов основания и бортов котлована и их сравнение с деформациями грунтов, полученных в результате расчета.

Известно, что при разработке котлованов происходит изменение природного напряженно - деформированного состояния массива грунтов [2-4], что необходимо учитывать при решении задач, связанных с прогнозом деформаций зданий и сооружений, устраиваемых в строительных котлованах [5].

Важнейшей экспериментальной задачей является получение данных о закономерностях деформирования грунтов по глубине основания котлована и, соответственно, о развитии активной зоны перераспределения начальных напряжений [6-8].

Результаты проведенных геологических исследований [9-10] показали, что грунты экспериментальной строительной площадки, представленные мощной толщей суглинков, имеют консистенцию от полутвердой до мягкопластичной. Размеры протяженного котлована составляют 30х4мх4м, то есть выполняются условия плоской деформации. Грунтовые воды в пределах исследуемых глубин (12м) не вскрыты. Для экспериментальных исследований в средней части котлована и по его бокам были размещены глубинные реперы, поверхностные и обсадные марки.

Перед разработкой котлована, природное напряжение в массиве грунта исследовалось на различных глубинах с помощью датчиков давления и марок. Измерения проводилось в течение 2 недель. После разработки котлована, наблюдения продолжились и велись в течение 2,5 месяцев.

На рис. 1, 2, 3 представлены результаты наблюдений за перемещением опытных марок, расположенных в разных зонах котлована и на разных глубинах.

Анализ графического представления результатов экспериментальных исследований показал, что кривые деформаций состоят из трех характерных участков: первый – это фаза чередования подъемов и опусканий, второй – это фаза быстрого подъема и третий - фаза стабилизации деформаций.

Подобный характер изменения перемещений грунта можно объяснить следующим образом: до откопки котлована вертикальные перемещения грунта обуславливались действием природно-климатических факторов, поэтому они имели знакопеременный характер и незначительные величины.

После откопки котлована, в течение трех недель (0,7м) происходит резкий

подъем дна котлована. Затем деформации грунта в центральной части котлована продолжали развиваться с очень незначительной скоростью.

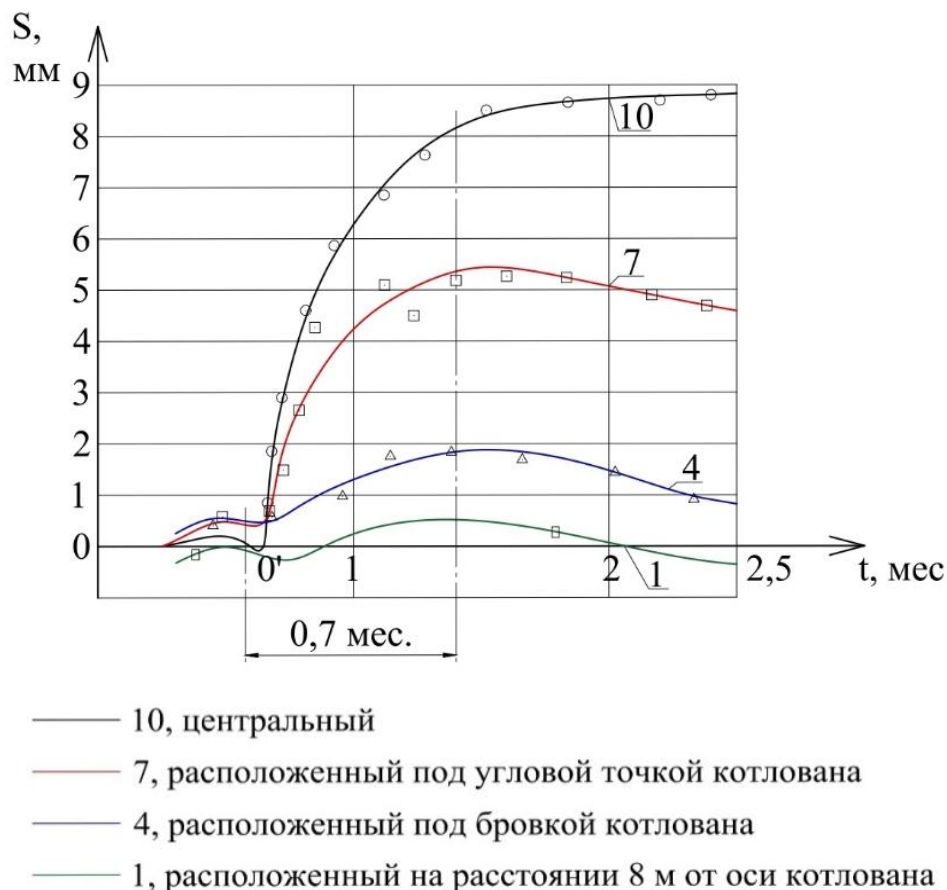


Рис. 1. Перемещения измерительных элементов, расположенных на глубине 0,8 метров от дневной поверхности котлована (0'- начало разработки котлована)

Интересно, что в результате перераспределения напряженно - деформированного состояния грунта, на бровке котлована были зафиксированы незначительные обратные деформации грунта.

Математическое моделирование проведенного эксперимента осуществлялось с помощью программного комплекса Plaxis. Для прогнозирования деформаций грунтового массива при разработке котлована, в практике инженерного проектирования, как правило, используется модель упрочняющегося грунта. Преимуществом этой модели по сравнению с

моделью Кулона-Мора является учет зависимости деформационных характеристик грунта от напряженного состояния.

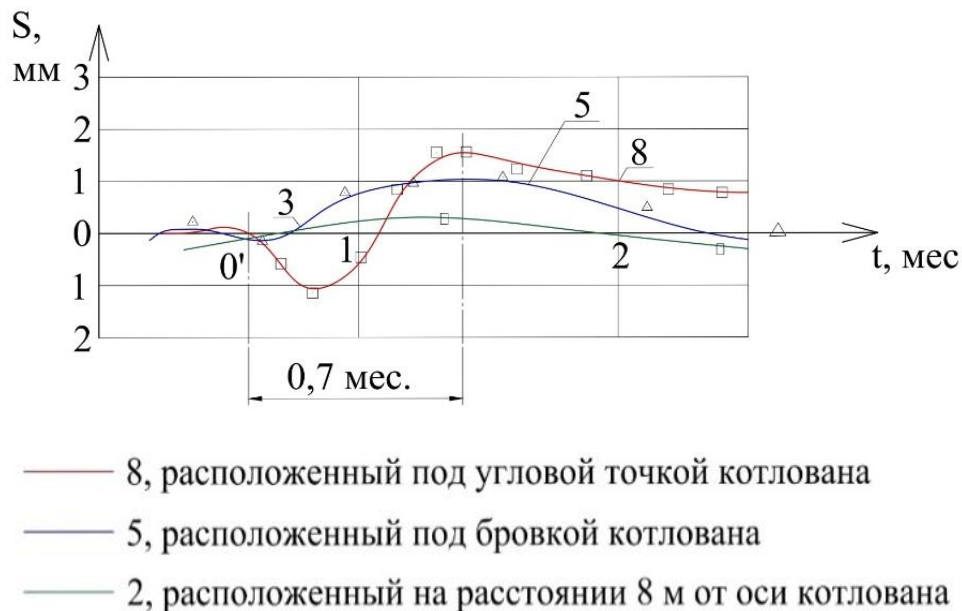


Рис. 2. Перемещения измерительных элементов, расположенных на глубине 5 метров от дневной поверхности котлована (0'- начало разработки котлована)



Рис. 3. Перемещения измерительных элементов, расположенных на глубине 8 метров от дневной поверхности котлована (0'- начало разработки котлована)

Задача решалась в соответствии с экспериментальными данными в двух постановках: в первом случае рассматривался вариант с наклонными откосами (рис. 4); во втором случае - решалась задача для котлована с вертикальными откосами (рис. 5)

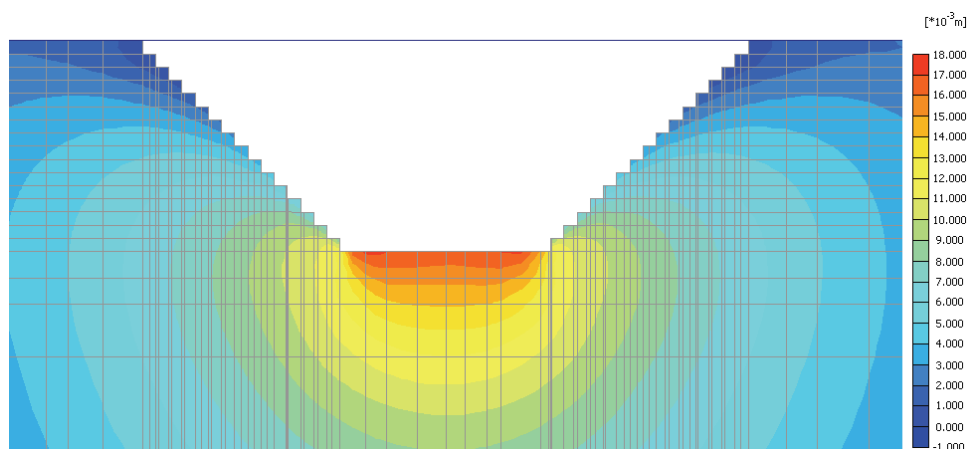


Рис. 4. Изополя вертикальных перемещений грунта для котлована с наклонными откосами

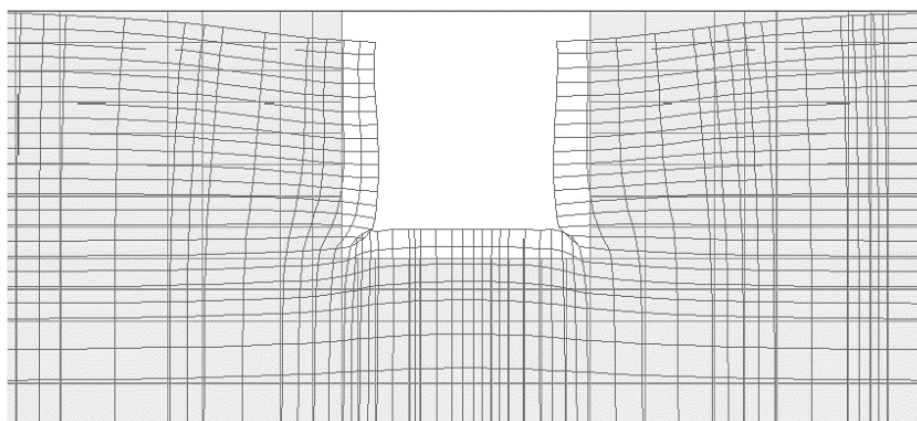


Рис 5. Перемещения поверхности грунта для котлована с вертикальными откосами

В результате расчета получены данные по деформированию грунтового массива по двум представленным схемам.

По экспериментальным данным, дно котлована в результате разуплотнения грунта максимально поднялось на 13,8 мм, а опускание бровок составило 0,9 мм. Эти данные хорошо согласуются с результатами расчета для котлована с наклонными откосами (рис.4). Они соответственно составили: прогнозируемый подъем дна котлована - 16мм, а опускание бровок котлована – 1 мм.

Для случая котлована с вертикальными откосами (рис.5), картина качественно совпала с данными эксперимента, но полученные результаты отличаются от экспериментальных данных и это объясняется влиянием бортов котлована. Так, дно котлована поднялось на 7,9 мм, а точки на бровке котлована опустились на 8 мм.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что при использовании модели упрочняющегося грунта, наблюдается хорошая сходимость результатов расчета с опытными данными по разуплотнению основания котлована – подъему дна и деформациям угловых точек. Причем, изменение угла заложения откоса влияет на количественные результаты деформирования как основания котлована, так и его верхней бортовой части.

Литература

1. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах. Под общей ред. Мангушева Р.А. М., СПб. Изд-во АСВ, 2013. 256с.
2. Тер-Мартirosян З.Г., Кяттов Н.Х., Сидорчук В.Ф. Экспериментальные и теоретические основы определения напряженного состояния грунтов естественного сложения // Инженерная геология, - 1984. - №3. С. 13-25.
3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей ред. Ильичева В.А. и Мангушева Р.А. М., Изд-во АСВ, 2016. 1040с.
4. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. О необходимости проведения комплексного мониторинга подземных объектов на различных стадиях жизненного цикла // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.

5. Borsaru I., Bally R.I. Survey of Ground Decompression at a Large Excavation at the Danube. 8 Eur. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Sept., Germany, Vol.1. 1986. p. 63-65.

6. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. Под ред. Сорочана Е.А. и Трофименкова Ю.Г. М. Стройиздат, 1985. 479с.

7. Yudina I. Analytical method of forecasting the settlement of water-saturated soils over time. IPIECE-2018, doi.org.10.1051/mateconf/201825104030.

8. Освоение подземного пространства городов. Под общей ред. Шулятьева О.А. М. Изд-во АСВ, 2017. 510с.

9. Юдина И.М., Климов А.Н. К вопросу о выборе расчётной модели для прогнозирования напряженно-деформированного состояния грунтов при устройстве котлованов // Вестник МГСУ, 2008, №2. URL: vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/.

10. Юдина И.М., Щербань Д.С., Трошкина А.Р. Экспериментальные данные по разуплотнению грунтов основания опытного котлована во времени // Инженерный вестник Дона, 2020, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6341.

References

1. Proyektirovaniye i ustroystvo podzemnykh sooruzheniy v otkrytykh kotlovanakh [Design and construction of underground structures in open pits] Pod obshchey red. Mangusheva R.A. М., SPb. Izd-vo ASV. 2013. 256p.

2. Ter-Martirosyan Z.G., Kyatov N.KH., Sidorchuk V.F. Inzhenernaya geologiya. 1984, №3. pp. 13-25.



3. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya [Handbook of geotechnics. Bases, foundations and underground structures] Pod obshchey red. Il'icheva V.A. i Mangusheva R.A. M. Izd-vo ASV. 2016. 1040p.

4. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.

5. Borsaru I., Bally R.I. Survey of Ground Decompression at a Large Excavation at the Danube. 8 Eur. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. Sept. Germany. Vol.1. 1986. p. 63-65.

6. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya. Spravochnik proyektirovshchika [Bases, foundations and underground structures. Designer handbook]. Pod red. Sorochana Ye. A. i Trofimenkova YU.G. M. Stroyizdat. 1985. 479p.

7. Yudina I. Analytical method of forecasting the settlement of water-saturated soils over time. IPICSE-2018, doi.org/10.1051/mateconf/201825104030.

8. Osvoyeniye podzemnogo prostranstva gorodov [Development of the underground space of cities] Pod obshchey red. Shulyat'yeva O.A. M. Izd-vo ASV. 2017. 510p.

9. Yudina I.M., Klimov A.N. Vestnik MGSU, 2008. № 2. URL: vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/.

10. Yudina I.M., Shcherban D.S., Troshkina A.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6341.