



Источник фото: Pixabay.com
The photo source: Pixabay.com

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

ВАНЬЯНЬ ДОУЦЗИНЬ

Университетский колледж Сицзин,
г. Сиань, Китай
185892236@qq.com

АННОТАЦИЯ

Представляем сокращенный и адаптированный (с перестановками) перевод заметки «Применение технологии крепления глубоких котлованов на основе анализа больших данных при строительстве инженерных сооружений» (WanYan, 2020), опубликованной в журнале *Journal of Physics* («Физическом журнале») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), фактически ставшей международной. Эта работа находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (WanYan, 2020) приведена в конце. Основой этой заметки был соответствующий доклад, сделанный на 8-й Международной конференции по прикладным инновациям в информационных технологиях (ICAIT 2020). Его автор – китайский геотехник Доуцзинь Ваньянь из Университетского колледжа Сицзин (г. Сиань).

В последние годы быстрое развитие проектов крепления глубоких котлованов становится все более важной проблемой в строительстве зданий и сооружений в крупных и средних городах. Чтобы обеспечить безопасность котлованов и избежать несчастных случаев, необходимо не только усилить надзор за инженерными изысканиями, проектированием, строительством и пр., но и применять современные технологии мониторинга систем крепления котлованов, окружающих их грунтов и соседней застройки в режиме реального времени в сочетании с численным моделированием на основе интернет-мышления при работе с большими данными. Только так можно улучшить технологии прогнозов и раннего предупреждения о возможных опасностях, чтобы инженерно-технический персонал мог вовремя принимать необходимые меры для предотвращения аварийных ситуаций.

Действительно, в настоящее время при проектировании, мониторинге и прогнозировании поведения глубоких котлованов применяются большие данные, что необходимо для сравнительных исследований вариантов систем их крепления, а также для математического анализа и математической статистики в целях верификации данных. Краткому обсуждению этих аспектов и посвящена данная статья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

анализ больших данных; система крепления котлована; мониторинг поведения котлована; компьютерное моделирование.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ваньянь Д. Об исследовании безопасности систем крепления глубоких котлованов на основе анализа больших данных (пер. с англ.) // *Геоинфо*. 2023. Т. 5. № 9/10. С. 38–41 DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-38-41

ON THE STUDY OF THE SAFETY OF DEEP FOUNDATION PIT SUPPORT SYSTEMS ON THE BASIS OF BIG DATA ANALYSIS

WANYAN DOUJIN

Xijing College, Xi'an, China
185892236@qq.com

ABSTRACT

We present an abridged and adapted (with rearrangements) translation of a brief article "Application of deep foundation pit support technology based on big data analysis in construction engineering construction" (WanYan, 2020) published in the Journal of Physics by the publishing company of the British scientific society "Institute of Physics" (IOP) that is now virtually international. It is an open access article under the CC BY 3.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (WanYan, 2020) for the presented translation is given in the end. This article is based on the corresponding report made at 8th International Conference on Applied Innovation in IT (ICAIIIT 2020). The author of the report is Doujin Wanyan, chinese geotechnical engineer from the Xijing College (Xi'an).

In recent years, the rapid development of deep foundation pit support projects has become an increasingly important issue in the construction of buildings and structures in large and medium-sized cities. To ensure the safety of foundation pits and avoid accidents, it is necessary not only to strengthen supervision of engineering surveys, design, construction and other aspects, but also to apply modern technologies for monitoring of foundation pit support systems, surrounding grounds and neighbouring buildings and structures in real time, combined with digital simulation on the basis of Internet thinking when working with big data. This is the only way to improve forecasting and early warning technologies concerning possible dangers, so that engineering and design staff can take the necessary measures in time to prevent emergency situations. Indeed, at present, big data are used in the design, monitoring and prediction of the behavior of deep foundation pits, which is necessary for comparative studies of options for support systems, as well as for mathematical analysis and mathematical statistics for data verification. This article is devoted to a brief discussion of the mentioned aspects.

KEYWORDS:

big data analysis; foundation pit support; foundation pit monitoring; digital simulation.

FOR CITATION:

WanYan D. Ob issledovanii bezopasnosti sistem krepleniya glubokih kotlovanov na osnove analiza bol'shih dannyh [On the study of the safety of deep foundation pit support systems on the basis of big data analysis. Original name: Application of deep foundation pit support technology based on big data analysis in construction engineering construction] (translated from English into Russian) // Geoinfo. 2023. Vol. 5. № 9/10. S. 38–41 DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-9/10-38–41 (in Rus.).

Введение ►

В связи с быстрым ростом национальной экономики Китая, значительным улучшением уровня жизни людей и быстрым развитием различных строительных проектов все чаще наблюдается тенденция к увеличению количества как надфундаментных, так и подземных этажей высотных зданий.

Создание подземных сооружений и глубоко заложенных фундаментов играет чрезвычайно важную роль в современном строительстве. Их качество на-

прямую влияет на безопасность и срок службы зданий и сооружений, а от скорости строительства непосредственно зависят сроки сдачи всего объекта в эксплуатацию [1].

Одной из функций проектирования и строительства котлованов является создание подходящего и безопасного подземного рабочего пространства для строительства и дальнейшего функционирования фундамента. Проектирование котлованов имеет огромное значение и ряд особенностей [2, 3].

Удачное или неудачное проектирование системы крепления котлована определяет, насколько гладко пройдет его строительство в целом. Безопасность котлована напрямую влияет на безопасность подземной и наземной частей будущего здания или сооружения, а также существующих соседних зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. Когда это не учитывалось, рядом со строящимися котлованами нередко происходили такие аварии и даже катастрофы, как проседание дорог, обрушение существующих

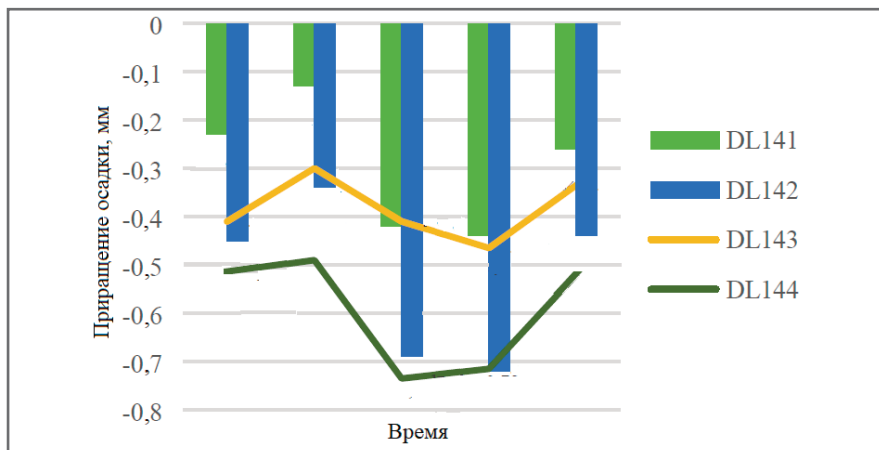


Рис. Диаграммы и кумулятивные кривые изменений осадков поверхности грунта рядом с котлованом

зданий или сооружений, разрывы подземных трубопроводов и т. д. [4].

Но в настоящее время технологии проектирования систем крепления глубоких котлованов не являются настолько зрелыми, чтобы учитывать множество разных факторов, влияющих на теорию и методы расчетов. В отношении мониторинга строительства еще не сформирована научная система контроля качества, а данные полевого мониторинга не могут обеспечить своевременное прогнозирование угроз безопасности котлованов, что может приводить к аварийным ситуациям.

Об особенностях проектирования систем крепления и мониторинга глубоких котлованов ▶

Примерно в последние десять лет технологии строительства глубоких котлованов быстро развивались и появилось много новых форм их крепления. Кроме того, были значительно усовершенствованы технологии мониторинга поведения котлованов. Чтобы сделать интеллектуальную систему прогнозирования деформаций бортов котлована, вмещающего его массива грунтов, прилегающей застройки и проходящих поблизости инженерных коммуникаций, используется сочетание больших данных и соответствующего специально разработанного программного обеспечения [5].

Проектирование котлованов и систем их крепления включает или связано со многими факторами, такими как выемка грунта, конструкция будущего фундамента, инженерные методы защиты окружающей среды и др. [6]. Такие комплексные проекты требуют больших знаний в широком спектре областей, таких как: пространственно-временные эффекты

строительства; вопросы механики грунтов; воздействие грунтовых вод на котлован; изменения в системе крепления бортов котлована и вмещающем грунтовом массиве в процессе выемки грунта; комбинированные эффекты поведения грунта и фундамента; мониторинг поведения котлована, вмещающего грунта, соседних зданий и сооружений и т. д. [7].

Кратко о случае из практики ▶

Случай, рассматриваемый автором, относится к одному из ключевых городов в регионе дельты реки Янцзы (Китай). Инженерно-геологические и в том числе гидрогеологические условия там относительно сложны. При строительстве глубоких котлованов часто возникают проблемы, влияющие на их безопасность и устойчивость. Это слабые грунты, пески-пльвуны, неустойчивые склоны и др. Такого рода условия могут отрицательно сказаться на безопасности котлована.

Из-за относительно сложного инженерно-геологического строения трудно точно проанализировать все проблемы, которые могли бы возникнуть в процессе строительства котлованов. Поэтому незаменимым звеном при развитии таких проектов стал мониторинг безопасности систем их крепления. Один из путей в этом направлении включает: использование мышления на основе больших данных, сравнение и анализ строительных данных, выполнение 3D-моделирования проекта в сочетании с технологией BIM, разработка научной и безопасной программы мониторинга безопасности котлована и установление разумной обратной связи. Такой механизм позволяет эффективно избежать проблемы чрезмерных деформаций в процессе строительства, обеспечив тем самым безопасное и устойчивое поведение котлована.

В исследовании автора за основу был взят проект системы крепления вытянутого глубокого котлована для строительства трубопроводного коридора (тоннеля).

Сначала была изучена базовая теоретическая информация об устройстве системы крепления глубокого котлована рассматриваемого типа, а также выполнен теоретический анализ его деформаций [8].

Затем для некоторых стандартных участков рассматриваемого котлована был проведен численный анализ трех типов данных полевого мониторинга (осадок дневной поверхности грунта, горизонтальных смещений и осадок оголовков свай, участвующих в системе крепления бортов котлована) с использованием конечноэлементного программного обеспечения MIDAS/GTS для трехмерного моделирования [9, 10].

Помимо того реальные данные по осадкам поверхности ежедневно собирались с точек мониторинга на строительной площадке. По значениям осадков в репрезентативных точках можно было проанализировать закономерности развития смещений. На *рисунке* по оси абсцисс отложено время (разные даты в период мониторинга) по оси ординат – приращения осадков дневной поверхности грунта рядом с котлованом. Для большей наглядности и анализа совокупных результатов расчетов данные мониторинга осадков поверхности для двух точек мониторинга представлены в виде кумулятивных кривых. На *рисунке* видно, что сначала поверхность оседала быстро. Это связано с тем, что котлован откапывался все глубже в верхнем слое грунта с разрушением его исходного напряженного состояния. После этого осадки поверхности перестали увеличиваться. И результаты численного моделирования примерно подтвердили эту картину.

В качестве типичных точек мониторинга осадков верха бортов котлована были выбраны оголовки свай на участке котлована относительно небольшой глубины, с хорошим креплением. Данные этого мониторинга приведены в *таблице*. Как видно из нее, общие тенденции изменений осадков оголовков свай во всех точках мониторинга очень похожи. Сначала верхние торцы свай относительно быстро оседали, потом скорость развития осадков замедлилась. После выемки грунта из котлована (под самый конец периода мониторинга) иногда даже наблюдалась небольшая «отдача» оголовков свай. Кумулятивные смещения и скорости изменений данных мони-

Таблица. Приращения осадок оголовков свай

Дата (день/месяц)	Свая			
	ZQC107	ZQC106	ZQC140	ZQC141
7/7	0,03	0,06	-0,02	-0,02
13/7	-0,15	-0,08	-0,09	-0,10
19/7	-0,22	-0,17	-0,22	-0,26
25/7	-0,37	-0,29	-0,40	-0,31
31/7	-0,40	-0,31	-0,51	-0,47
6/8	-0,54	-0,50	-0,65	-0,57
12/8	-0,77	-0,68	-0,86	-0,89
18/8	-0,72	-0,78	-0,77	-1,01

торинга оказались в пределах нормативно допустимых.

Выводы и рекомендации ►

Являясь одной из важнейших составляющих геотехники, проектирование глубоких котлованов отличается очень сильной региональностью, сложностью и необходимостью всестороннего учета всех факторов влияния.

В работе автора для анализа деформаций системы крепления вытянутого глубокого котлована для строительства трубопроводного коридора (тоннеля) использовалась комбинация теоретического анализа, численного моделирования и интернет-мышления при работе с большими данными.

При изучении проекта системы крепления рассматриваемого котлована бы-


ли получены данные по осадкам дневной поверхности окружающего котлована грунта, деформациям системы крепления бортов котлована, напряжениям грунта вокруг котлована и др.

На основе данных мониторинга и совокупной диаграммы смещений был выполнен анализ закономерностей изменений и их причин, а также сделаны выводы о безопасности и устойчивости всего глубокого котлована.

Результаты мониторинга были сопоставлены с данными трехмерного численного моделирования на основе применения метода больших данных и использования метода ВМ для моделирования возможных проблем и всестороннего отслеживания осадок поверхности грунта и оголовков свай в бортах котлована. Было выявлено, что модельные тенденции

к росту смещений при углублении котлована в основном соответствуют фактическим данным мониторинга. Смещения оказались в диапазоне допустимых в соответствии с нормативными требованиями. То есть было выяснено, что котлован и окружающая среда находятся в безопасном и контролируемом состоянии.

В заключение хотелось бы отметить, что результаты численного моделирования больших данных не могут полностью отразить проект. При выполнении такого моделирования из-за множества факторов влияния на строительной площадке соответствующие переменные не обязательно будут отражать фактическую ситуацию. Для упрощения следует заменять некоторые из этих переменных эмпирическими величинами. То есть реальную ситуацию можно использовать в качестве ориентира при моделировании.

Сравнивая фактические данные полевого мониторинга с результатами численного моделирования, можно сделать вывод о том, в какой степени модель отражает инженерное состояние объекта, и определить степень достоверности этой модели. Такая модель может иметь определенную справочную ценность и обеспечить теоретическую основу (в свою очередь на основе практического опыта) для проектирования и строительства подобных котлованов в будущем. 

Источник для перевода ►

(Source for the translation) ►

WanYan D. Application of deep foundation pit support technology based on big data analysis in construction engineering construction // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing Ltd., 2020. Vol. 1533. International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT 2020). Article № 042001. DOI:10.1088/1742-6596/1533/4/042001. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1533/4/042001.

Список литературы, использованной автором переведенной статьи ►

(References used by the author of the translated article) ►

1. Jun H. Research on the influence of excavation of deep foundation pit to adjacent existing high-speed railway bridge pile foundations stability // Journal of Railway Engineering Society. 2017. Vol. 34. № 6. P. 12–17, 22.
2. Yu Ch. Numerical analysis of deep foundation pit excavation supported by large diameter ring beam // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 242. № 6. Article № 062033.
3. Chen K., Yan S., Zhang Z.. Impact analysis of deep foundation pit excavation under different bracing system // Journal of Tianjin University. 2017. Vol. 50. P. 1–6.
4. Yong Zh., Xiaoli W., Yanpeng Zh. Seepage stability analysis of deep foundation pit of Lanzhou Metro under the condition of water level reduction in collapsible loess // China Railway Science. 2017. Vol. 38. № 1. P. 86–94.
5. Zheng G., Nie D.-Q., Cheng X.-S. Experimental study on multi-bench retaining foundation pit // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 39. № 5. P. 784–794.
6. Zhang Z., Fei S., Xing L. Analysis on the influence of adjacent double foundation pit excavation on tunnel deformations // Journal of University of Shanghai for Science & Technology. 2017. Vol. 9. № 2. P. 176–181.
7. Zhang X., Xiao J.-H., Nong X.-Z. Analysis of influenced zone of foundation pit excavation adjacent to bridge pile foundation using HS-Small constitutive model // Rock and Soil Mechanics [Yantu Lixue]. 2018. Vol. 39. P. 263–273.
8. Xu G., Zhang J., Liu H.. Shanghai center project excavation induced ground surface movements and deformations // Frontiers of Structural & Civil Engineering. 2017. Vol. 9. P. 1–18.
9. Zhang Z.-G., Yang X., Zhao Q.-H.. Simplified analysis of frame buildings with shallow foundation induced by excavation of adjacent foundation pit // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 39. P. 224–227.
10. Zhang X., Liu Y. Influence of soil parameters on deformation of retaining structure of deep foundation pit // Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition) [Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)]. 2018. Vol. 37. № 5. P. 794–798.