

Прогноз технологических деформаций при строительстве зданий и сооружений на подрабатываемых территориях

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-61-64>

Горная выработка и расположенные поблизости сооружения и объекты образуют единую природно-техническую систему, обеспечение безопасности которой представляет собой сложную задачу в связи с технологическими деформациями, возникающими в процессе производства горнотехнических работ. Для минимизации указанных деформаций применяются прогрессивные технологии, но, тем не менее, необходим контроль напряженно-деформированного состояния по данным геотехнического мониторинга. Рассмотрена форма мульды деформаций поверхности грунта в районе горнотехнических работ. Детально исследуются результаты анализа экспериментальных данных по деформациям грунтового массива в случае сооружения вблизи разрабатываемого котлована. Приведены аналитические выражения расчета технологических осадок для различных типов ограждающих конструкций.
Ключевые слова: геотехнический мониторинг, горная выработка, напряженно-деформированное состояние, осадки грунта, расчетная осадка, технологические деформации, технологические осадки.

Для цитирования: Конюхов Д.С. Прогноз технологических деформаций при строительстве зданий и сооружений на подрабатываемых территориях // Уголь. 2023. № 4. С. 61-64. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-61-64.

ВВЕДЕНИЕ

Создание геотехнической системы шахты, включающей горные выработки, находящиеся на поверхности здания, и вмещающий породный массив, сопряжено с необходимостью обеспечения безопасности ввиду сопровождающих этот процесс деформаций грунта [1, 2], в первую очередь – его осадок. Они неизбежны, и естественным представляется стремление к их минимизации. К контролируемым параметрам относятся параметры характеризующие изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива и строительных конструкций [3], в том числе связанные с динамическими воздействиями от строительных машин, передаваемыми через грунты основания на конструкции поверхностного и подземного комплексов шахты, а также «технологические деформации» существующих зданий и сооружений в результате ведения вблизи от них строительных работ, в том числе в результате погружения свай и

КОНЮХОВ Д.С.

Канд. техн. наук,
доцент, НИТУ «МИСИС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: gidrotehnik@inbox.ru

шпунта, а также изготовления «стены в грунте». Последние могут быть связаны не только с динамическими воздействиями в процессе производства работ по забивке или вибропогружению свай, но и, например, с перемещениями стен траншейной «стены в грунте» при неправильно подобранном составе раствора бентонитовых глин. В общем виде деформации зданий в районе проведения горных выработок можно рассматривать как результат нарушения принятых конструктивно-технологических решений [4, 5, 6].

Согласно СП 22.13330.2016 для обеспечения безопасности строительства, а также зданий и сооружений сложившейся застройки необходимо организовать геотехнический мониторинг.

В качестве основных количественных параметров, определяющих степень безопасности воздействия горнотехнических работ на существующие здания и сооружения на поверхности шахты, используются предельно допустимые деформации – максимальная осадка и относительная разность осадок. В результате такого подхода распространена подмена понятия «геотехнический мониторинг» исключительно геодезическими измерениями осадок.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Сопоставление результатов расчетов формы мульды деформаций поверхности по различным методикам показывает их близкую сходимость с данными натурных измерений [7, 8].

Предельно-допустимые деформации оснований фундаментов существующих зданий, расположенных на подрабатываемых территориях [9], не нормируются.

Таким образом, геотехнический мониторинг, кроме непосредственного наблюдения за осадками зданий, в частности, должен включать:

- анализ этих наблюдений;
- дополнительные изыскания на строительной площадке, например, геофизические работы, которые могут выявить утечки из инженерных коммуникаций, суффозионное разуплотнение грунтов основания зданий и прочее [10, 11];
- расчет совместной работы горной выработки с вмещающим массивом [12, 13] с учетом результатов измерений, материалов маркшейдерской и геологической служб, дополнительных изысканий и др.;
- техническое освидетельствование зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния горнотехнических работ;
- прогноз развития деформаций во времени с учетом фактического положения;
- управление технологическими воздействиями на существующую застройку и природно-техническую систему в целом;
- рекомендации по дальнейшему ведению работ и многое другое.

В таком или в аналогичном составе геотехнический мониторинг проводился неоднократно как в нашей стране [14], так и за рубежом [15].

В настоящее время на практике, в основном, не учитываются технологические деформации сложившейся застройки в процессе шахтного и подземного строительства. Изучению влияния технологических осадок на общие деформации зданий и сооружений в процессе нового строительства посвящены исследования, результаты которых изложены в ряде публикаций [16, 17, 18].

Технологические деформации зависят от трех групп факторов:

- внешние факторы – инженерно-геологические и гидрогеологические условия;
- проектные факторы – расстояние от места производства работ до фундамента здания по нормали в горизонтальной плоскости, то же по глубине, конструктивные параметры возводимого сооружения, оказывающие влияние на технологию производства работ (зависят от целого ряда параметров, определяемых способом строительства, габаритными размерами возводимой конструкции и т. д., например, применительно к «стене в грунте» траншейного типа ими являются длина, ширина и глубина захватки);
- технологические факторы – характеристики и особенности применяемого оборудования, параметры производства работ и их качество.

Нормативными документами предусмотрены расчеты технологических деформаций от водопонижения, от забивки свай, от вибропогружения свай и шпунта, в качестве доли от прогнозируемого расчетного значения деформации и др.

Технологические осадки S_{adt} фундаментов зданий при вдавливании шпунта рассчитываются как [19]:

$$S_{adt} = \beta k \sum (\sigma_{adt,j} h_j) E_j, \quad (1)$$

где β – коэффициент, зависящий от коэффициента Пуассона и принимаемый равным 0,8; $\sigma_{adt,j}$ – среднее дополнительное напряжение от вдавливания шпунта в j -м слое грунта; h_j – мощность j -го слоя грунта; E_j – модуль деформации j -го слоя грунта; k – поправочный коэффициент, зависящий от

длины шпунта и расстояния от шпунта до оси фундамента.

Проведенные экспериментальные исследования и материалы анализа публикаций показывают, что применение прогрессивных технологий шахтного и подземного строительства позволяет существенно снизить деформации существующей застройки, обеспечить оптимальные условия ее сохранности и безопасной эксплуатации.

В ходе исследования выявлено, что независимо от инженерно-геологических условий участка строительства и глубины котлована технологические деформации (осадки) существующих зданий, расположенных в зоне влияния геотехнических работ, составляют:

- при усилении оснований и фундаментов:
 - инъекционное закрепление грунтов: средняя осадка – 1,4 мм, максимальная осадка – 2 мм, минимальная осадка – 0,8 мм, что в среднем составляет 29% от предельно допустимой осадки здания;
 - устройство буронабивных свай: средняя осадка – 4,1 мм, максимальная осадка – 8 мм, минимальная осадка – 0,2 мм, что в среднем составляет 103% от предельно допустимой осадки здания;
 - устройство буроинъекционных свай: средняя осадка – 14,2 мм, максимальная осадка – 42 мм, минимальная осадка – 3 мм, что в среднем составляет 199% от предельно допустимой осадки здания;
 - устройство jet-свай: средняя осадка – 4,33 мм, максимальная осадка – 10 мм, минимальная осадка – 0,2 мм, что в среднем составляет 44% от предельно допустимой осадки здания;
 - погружение металлических труб пневмопробойником: средняя осадка – 1,82 мм, максимальная осадка – 5,9 мм, минимальная осадка – 0,5 мм, что в среднем составляет 16% от предельно допустимой осадки здания;
- при устройстве ограждающей конструкции котлована способом «стена в грунте»:
 - траншейного типа: средняя осадка – 2,75 мм, максимальная осадка – 14,3 мм, минимальная осадка – 0,3 мм, что в среднем составляет 45% от предельно допустимой осадки здания;
 - по jet-технологии: средняя осадка – 5,45 мм, максимальная осадка – 9,0 мм, минимальная осадка – 0,1 мм, что в среднем составляет 55% от предельно допустимой осадки здания.

Полученная автором по результатам статистической обработки результатов экспериментальных исследований эмпирическая зависимость осадок зданий окружающей застройки S_{adt} от расстояния между краем фундамента и «стеной в грунте» L имеет вид:

$$S_{adt} = 19,943L^{-1,163} \quad (2)$$

а зависимость от соотношения L/h , где L – расстояние от края фундамента до края «стены в грунте», h – глубина котлована, имеет вид:

$$S_{adt} = 0,6504(L/h)^{-1,149}. \quad (3)$$

В среднем, независимо от типа грунта, технологическая осадка существующих зданий при устройстве «стены в грунте» траншейного типа составляет 32% от расчетной, что превышает рекомендации норм СП 248.1325800.2016.

Аналогично при ограждении котлована, устроенном из металлических труб, автором получены выражения для технологической осадки, которые имеют вид соответственно:

$$S_{adt} = 7,5098L^{-1,148}, \quad (4)$$

$$S_{adt} = 0,9849(L/h)^{-1,06}. \quad (5)$$

Для оценки достоверности аппроксимаций был определен коэффициент детерминации R^2 , показавший, что максимальная ошибка аппроксимации соответствует выражению (3) и не превышает 26%.

В работе [20] введены следующие классы современных технологий подземного строительства:

I – простой; строительство сооружений пониженного или нормального уровня ответственности ведется на свободных от застройки территориях и не оказывает воздействия на геологическую среду;

II – средний; строительство сооружений нормального уровня ответственности ведется в условиях городской застройки, оказывает влияние на геологическую среду, однако требования экологической безопасности вторичны по сравнению с экономической эффективностью или безопасностью застройки;

III – сложный; строительство сооружений нормального и повышенного уровня ответственности, в том числе особо опасных, технически сложных и уникальных, ведется в условиях исторической части города. застройка плотная. В зоне влияния строительства имеются памятники истории, культуры, архитектуры, здания и сооружения с повышенными требованиями по шуму и вибрации, особо опасные и уникальные здания и сооружения. Воздействия на геологическую среду должны быть сведены к минимуму.

Из анализа результатов мониторинга технологических деформаций зданий при ведении геотехнических работ [20] следует, что применение прогрессивных технологий II и III классов минимизирует осадки существующих зданий до 50% по сравнению с другими способами производства работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов натурных наблюдений за строительством зданий и сооружений на подрабатываемых территориях позволил установить, что:

- в среднем технологическая осадка существующих зданий при устройстве ограждающих конструкций котлованов глубиной менее 12 м составляет 43%, а при усилении фундаментов существующих зданий – 48% от предельно допустимой осадки здания;
- при устройстве «стены в грунте» траншейного типа для котлованов глубиной от 12,5 до 34,8 м, независимо от типа грунтовых условий, технологическая осадка существующих зданий составляет в среднем 32% от расчетной, что превышает рекомендации норм СП 248.1325800.2016.

Список литературы

1. Bai J., Zheng D., Jia Ch. Safety Technology Risks and Countermeasures in the Intelligent Construction of Coal Mines // *Geofluids*. 2022. Article 4491044. DOI: 10.1155/2022/4491044.
2. Экспериментальное выявление пространственной периодичности наведенных деформаций массива горных пород / М.А. Иофис, В.Н. Одинцев, Д.И. Блохин и др. // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2007. № 2. С. 21–27.
3. Куликова Е.Ю., Конюхов Д.С. Мониторинг риска аварий при освоении подземного пространства // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2022. № 1. С. 97–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.
4. Куликова Е.Ю. Методика интегральной оценки риска в шахтном и подземном строительстве // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021. № 2–1. С. 124–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.
5. Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Критерии опасности и уязвимости в структуре рангов аэрологических рисков угольных шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2022. № 10. С.153–165. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-10-0-153.
6. Управление рисками при подземной добыче угля / К.Н. Копылов, И.М. Загоршменный, С.С. Кубрин и др. // *Уголь*. 2016. № 7. С. 39–43. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-7-39-43.
7. Баловцев С.В., Шевчук П.В. Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2018. № 8. С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.
8. Konyukhov D.S. Analysis of mechanized tunneling parameters to determine the overcutting characteristics // *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022. No 7. P. 49–56. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-49-56.
9. Агафонов В.В., Яхеев В.В., Варыгин С.О. Интегральная оценка схем подготовки шахтных и выемочных полей // *Уголь*. 2021. № 12. С. 38–40. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-38-40.
10. Загоршменный И.М., Загоршменный А.И. Водопровяления в тоннелях с высокоточной железобетонной обделкой и способы их устранения // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2022. № 4. С. 17–32. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_17.
11. Шейнин В.И., Блохин Д.И., Гайсин Р.М., Максимович И.Б., Максимович Ил.Б., Ходарев В.В. Комплексная диагностика технического состояния монолитной «стены в грунте» после длительной консервации // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2014. № 4. С. 19–24. URL: <https://doi.org/10.1007/s11204-014-9277-5>.
12. Козлова О.Ю. Опыт применения и перспективы развития имитационного моделирования в горном деле // *Уголь*. 2022. № 5. С. 42–45. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-42-45.
13. Харисова О.Д., Харисов Т.Ф. Прогноз обрушений земной поверхности по данным инструментальных наблюдений за сдвижением горных пород при подземной разработке месторождений // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № 3–1. С. 264–274. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-264-274.
14. Perminov N.A., Perminov A.N. Geotechnical protection of engineering infrastructure objects in large cities under intense antropogenic impact and long term operation / 15th World Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space. *Underground Urbanization as a Prerequisite for Sustainable Development. Conference Proceedings*. 12-15 September 2016. Saint Petersburg. Russia. Saint Petersburg, 2016. P. 378-381.
15. Renaud M., Kumral M. Planning a Complex Mine Construction Project under Price Cyclicity // *Engineering Management Journal; EMJ*. 2020. Vol. 32. P. 120-129. DOI: 10.1080/10429247.2020.1718461.

16. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts / MATEC Web of Conferences. 2018. No 239. 01021. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.
17. Lebedev M., Dorokhin K. Application of cross-hole tomography for assessment of soil stabilization by grout injection // Geosciences (Switzerland). 2019. No 9. 399. DOI: 10.3390/geosciences9090399.
18. Geotechnical Risk Management Concept for Intelligent Deep Mines / R.K. Mishra, M. Janiszewski, L.K.T. Uotinen et al. // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 191. P. 361–368. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.192.
19. Гурский А.В. Учет влияния вдавливания шпунта на дополнительную осадку соседних зданий. Дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2016. 133 с.
20. Конохов Д.С. Критериальный анализ современных технологий подземного строительства // *Геотехника*. 2021. Т. XII. № 1. С. 40–54. DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-1-40-54.

GEOTECHNOLOGY

Original Paper

UDC 624.191 © D.S. Konyukhov, 2023

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 4, pp. 61-64

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-61-64>

Title

FORECAST OF TECHNOLOGICAL DEFORMATIONS OF THE EARTH'S SURFACE DURING THE CONSTRUCTION OF SURFACE COMPLEXES OF MINES

Author

Konyukhov D.S.¹¹ National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, 119049, Russian Federation

Authors Information

Konyukhov D.S., PhD (Engineering), Associate Professor, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru

Abstract

The mine workings and nearby structures and facilities form a single natural and technical system, the safety of which is a challenge due to the technological deformations that occur during mining operations. Progressive technologies are used to minimize these deformations, but nevertheless it is necessary to control the stress-strain state based on geotechnical monitoring data. The shape of the ground surface deformation trough in the area of mining works is considered. The results of analysis of experimental data on ground massif deformations in case of construction near the excavation being developed are investigated in detail. Analytical expressions for determining technological settlements at various designs of excavation support are given. Numerical values of technological settlements at various technologies of work production are specified.

Keywords

Geotechnical monitoring, Mine working, Stress-strain state, Soil settlements, Design settlement, Technological deformations, Technological settlements.

References

- Bai J., Zheng D. & Jia Ch. Safety Technology Risks and Countermeasures in the Intelligent Construction of Coal Mines. *Geofluids*, 2022, Article 4491044. DOI: 10.1155/2022/4491044.
- Iophis M.A., Odintsev V.N., Blokhin D.I. & Sheinin V.I. Experimental investigation of spatial periodicity of induced deformations in a rock mass. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2007, Vol. 43, (2), pp. 125-131. (In Russ.). DOI: 10.1007/s10913-007-0015-5.
- Kulikova E.Yu. & Konyukhov D.S. Accident risk monitoring in underground space development. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2022, (1), pp. 97-103. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-1-0-97.
- Kulikova E.Yu. Methods of forming an integral risk assessment in mine and underground construction. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2021, (2–1), pp. 124-133. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-1-124-133.
- Balovtsev S.V. & Skopintseva O.V. Hazard and vulnerability criteria in the rank structure of aerological risks in coal mines. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2022, (10), pp. 153-165. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-10-0-153.
- Kopylov K.N., Zakorshmenyi I.M., Kubrin S.S. & Korchak A.V. Risk management during underground coal production. *Ugol'*, 2016, (7), pp. 39-43. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-7-39-43.
- Balovtsev S.V. & Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2018, (8), pp. 77-83. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.
- Konyukhov D.S. Analysis of mechanized tunneling parameters to determine the overcutting characteristics. *Mining Science and Technology (Russia)*, 2022, (7), pp. 49-56. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-49-56.
- Agafonov V.V., Yakheev V.V. & Varygin S.O. Integrated assessment of mine and excavation field preparation schemes. *Ugol'*, 2021, (12), pp. 38-40. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-38-40.

10. Zakorshmenyi I.M. & Zakorshmenyi A.I. Water ingress events and their elimination in tunnels with high-precision reinforced concrete lining. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2022, (4), pp. 17-32. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-17.

11. Sheinin V.I., Blokhin D.I., Gaisin R.M., Maksimovich I.B., Maksimovich I.B. & Khodarev V.V. Complex diagnostics of the technical condition of a monolithic "diaphragm-wall" after long-term conservation. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gryntov*, 2014, (4), pp. 19–24. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11204-014-9277-5>. (In Russ.).

12. Kozlova O.Yu. Experience in application and development prospects of simulation modelling in mining. *Ugol'*, 2022, (5), pp. 42-45. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-5-42-45.

13. Kharisova O.D. & Kharisov T.F. Prediction of ground surface collapse by instrumental observation data on rock mass movements during underground mining. *Gornyj informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2020, (3–1), pp. 264-274. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-264-274.

14. Perminov N.A. & Perminov A.N. Geotechnical protection of engineering infrastructure objects in large cities under intense antropogenic impact and long term operation. 15th World Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space. Underground Urbanization as a Prerequisite for Sustainable Development. Conference Proceedings. 12-15 September 2016, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg, 2016, pp. 378-381.

15. Renaud M. & Kumral M. Planning a Complex Mine Construction Project under Price Cyclicity. *Engineering Management Journal/EMJ*, 2020, (32), pp. 120-129. DOI: 10.1080/10429247.2020.1718461.

16. Pleshko M., Kulikova E. & Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, (239), 01021. Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.

17. Lebedev M. & Dorokhin K. Application of cross-hole tomography for assessment of soil stabilization by grout injection. *Geosciences (Switzerland)*, 2019, (9), 399. DOI: 10.3390/geosciences9090399.

18. Mishra R.K., Janiszewski M., Uotinen L.K.T., Szydłowska M., Siren T. & Rinne M. Geotechnical Risk Management Concept for Intelligent Deep Mines. *Procedia Engineering*, 2017, (191), pp. 361–368. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.192.

19. Gurskiy A.V. Accounting for the impact of sheet pile indentation on the additional settlement of neighbouring buildings. PhD (Engineering) diss. St. Petersburg: SPbGASU, 2016. 133 p. (In Russ.).

20. Konyukhov D.S. Criterial Analysis of Modern Underground Construction Technologies. *Geotechnica*, 2021. Vol. XII.1, (1), pp. 40–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2021-13-1-40-54>.

For citation

Konyukhov D.S. Forecast of technological deformations of the earth's surface during the construction of surface complexes of mines. *Ugol'*, 2023, (4), pp. 61-64. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-61-64.

Paper info

Received December 20, 2022

Reviewed February 28, 2023

Accepted March 27, 2023