



УДК 624.19

DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-1-144-148

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗАКРЕПЛЕННОМ ГРУНТОБЕТОННОМ МАССИВЕ

Д.В. Величко¹, А.Н. Дронов, А.А. Терешин²

¹ Российский государственный геологоразведочный университет
ул. Миклухо-Маклая, д. 23, Москва, Россия, 117485

² Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассматриваются вопросы компьютерного моделирования устойчивости подземных выработок в грунтовом массиве, укрепляемом цементными смесями. Обоснован критерий, по которому по результатам компьютерного моделирования определяется оптимальная прочность укрепленного грунтобетонного массива. Показано, что данная технология укрепления может использоваться при проходке подземных горных выработок в ослабленных грунтах.

Ключевые слова: строительство, горные выработки, грунты, устойчивость, укрепление, моделирование

Введение

Использование метода гидроструйной цементации при проходке горных выработок повышает научный интерес к совершенствованию данной технологии. Практическая суть состоит в устройстве конструктивных элементов из укрепленного грунта (грунтобетона), с помощью которых могут решаться все возникающие проблемы, связанные со строительством новых или реконструкцией (усилением) существующих сооружений и с обеспечением безопасности или усилением существующих строений, находящихся на прилегающих территориях. Из обширного списка практических приложений технологии гидроструйной цементации можно привести основные:

- крепление стенок и дна котлованов при строительстве подземных сооружений в обводненных и неустойчивых грунтах;
- устройство грунтобетонных вертикальных армирующих элементов в основании проектируемых фундаментов плитного, ленточного или столбчатого типа (устройство ленточных фундаментов и сплошных фундаментных плит осуществляется взаимно пересекающимися грунтобетонными массивами);
- устройство грунтобетонных конструкций с армированием железобетонным сердечником или стальным каркасом;
- сплошное укрепление массива неустойчивых грунтов путем создания взаимно пересекающихся укрепленных элементов массива дна последующего про-

ведения проходческих работ по устойчивой породе (грунтобетону) с регламентированными физико-механическими свойствами;

— устройство противофильтрационных завес способом «стена в массиве» для защиты водоносных горизонтов и предотвращения фильтрационных деформаций берегов рек, гидротехнических сооружений;

— проведение противооползневых мероприятий путем сооружения подпорных стен для повышения устойчивости склонов и откосов.

Эта технология предусматривает размыв и разрушение грунта под воздействием энергии струи (имеющей давление до 800 МПа) цементной суспензией при одновременном смешении и частичном замещении грунта цементной суспензией [3; 4]. В результате после твердения грунтоцементной массы образуется грунтобетон, в котором роль заполнителя играют частицы и агрегаты размываемого грунта. По своему составу получаемый грунтобетон может быть близок к мелкозернистым бетонам, особенно если разрушаемый грунт представлен песчаными разностями. Однако в отличие от обычных бетонов грунтобетон, получаемый по струйной технологии, характеризуется существенно меньшей однородностью даже в тех случаях, когда для ее повышения используются специальные пластифицирующие добавки. Тем не менее, если учитывать эту неоднородность, получаемый материал можно с успехом использовать для создания тех или иных элементов инженерных конструкций (подземных, подпорных и т.п.).

На сегодняшний день высокая изученность свойств получаемого материала дает возможность прогнозировать прочность закрепляемого массива. После изучения существующей технологической схемы закрепления грунтов методом гидроструйной цементации и последующего анализа практических результатов встает вопрос о необходимости ее оптимизации в целях снижения материальных и физических затрат на строительные работы. Так, при строительстве ряда тоннелей в г. Москве закреплению подвергался весь участок проходки разведочных штолен. Разработка грунта происходила горнопроходческим комбайном с последующей установкой рамного крепления. На следующем этапе армировались и бетонировались стены, лоток и потолочина выработки. Закрепление массива и последующая проходка выработок характеризовались повышенной трудоемкостью в производственном цикле работ.

Предлагаемая методика

Предлагаемая технологическая схема проходки горных выработок в грунтоцементном массиве разрабатывалась с целью оптимизации затрат на горнопроходческие работы. Для численного моделирования и подбора необходимых параметров использовался программный комплекс Phase-2 фирмы Rocscience, основанный на методе конечных элементов.

В качестве прочностного критерия материалов модели используется обобщенный критерий Хука-Брауна [1]. Тип породы в соответствии с этим критерием задается при помощи эмпирических констант m_i , GSI и D, определяемых в соответствии с особыми экспериментальными натурными и лабораторными методиками, которые призваны связать их со свойствами, структурными особенностями, степенью трещиноватости породного массива [2].

На первом этапе моделирования была выбрана горная выработка круглого сечения диаметром 2 м, проходимая в закрепленном массиве на глубине 50 м. Закрепление носило частичный характер, и грунт в теле выработки не был подвержен закреплению. Данный способ облегчает проходческие работы и исключает необходимость использования комбайна для разрушения грунтобетона.

В грунтовый состав закрепляемого массива входили песок, супесь, суглинок и глина. Прочность на одноосное сжатие грунтобетонного массива принималась равной 6 МПа. В данном случае коэффициент запаса прочности на контуре горной выработки меньше 1, что свидетельствует о неустойчивости и возможности обрушения пород в границах контура.

На втором этапе вокруг горной выработки было смоделировано закрепительное кольцо. Физико-механические свойства закрепленного кольца были приняты выше, чем у основного массива. Прочность на одноосное сжатие закрепительного кольца принималась равной 10 МПа. По геометрическим характеристикам закрепительное кольцо тождественно зоне обрушения пород и составляет 32% от площади выработки. Коэффициент запаса прочности на контуре горной выработки выше или равен 1, что свидетельствует об устойчивости на контуре горной выработки. Для характеристики устойчивости горной выработки также фиксировались вертикальные и горизонтальные смещения. Значения вертикальных и горизонтальных смещений не превышали 2 см. Исходя из этого можно сделать вывод о возможности использования предлагаемой технологии при проходке выработок в условиях плотной городской застройки, где вопрос о повышении деформационной способности грунтов является одним из основных.

Выводы

Результаты численного моделирования говорят о том, что данная технология закрепления дает возможность реализовать проходку горной выработки при частичном закреплении массива.

Последующие стадии моделирования были направлены на изучение изменения коэффициента запаса на контуре горной выработки при локальном закреплении защитного кольца в зоне свода выработки, в зоне основания выработки, в зоне участков концентрации напряжений при дальнейших горнопроходческих работах. Изменяя физико-механические свойства грунтобетона путем добавления пластификаторов или армирующих элементов, можно увеличить прочностные свойства закрепительной области и оптимизировать затраты на дальнейшие строительные-монтажные работы.

Данный анализ на стадии проектирования позволяет совершенствовать технологическую схему горнопроходческих работ, уменьшить материальные затраты и оптимизировать сроки работ.

Использование грунтобетона вместо железобетонов в качестве материала для закрепления грунтового массива позволяет значительно снизить себестоимость проходки выработок в неблагоприятных с инженерной точки зрения условиях.

© Величко Д.В., Дронов А.Н., Терешин А.А., 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] *Croce P., Flora A.* Analysis of single-fluid jet grouting // *Geotechnique*. 2000. Т. 50. № 6. Pp. 739—748.
- [2] *Modoni G., Croce P., Mongioli L.* Theoretical modelling of jet grouting // *Géotechnique*. 2006. Т. 56. № 5. Pp. 335—348.
- [3] *Малинин А.Г., Гладков И.Л., Малинин Д.А.* Экспериментальные исследования параметров струйной технологии в различных грунтовых условиях // *Метро и тоннели*. 2010. № 3. С. 32—33.
- [4] *Тер-Мартirosян З.Г., Струнин П.В.* Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов // *Вестник МГСУ*. 2010. № 4-2. С. 310—315.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 10 декабря 2016

Дата принятия к печати: 20 января 2017

Для цитирования:

Величко Д.В., Дронов А.Н., Терешин А.А. Моделирование устойчивости подземной горной выработки в закрепленном грунтобетонном массиве // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2017. Т. 18. № 1. С. 144—148.

Сведения об авторах:

Величко Дмитрий Владимирович, старший преподаватель кафедры горного дела, Российский государственный геологоразведочный университет. *Сфера научных интересов*: подземное строительство, инженерная геология и гидрогеология, геомеханика. *Контактная информация*: e-mail: dmitrii_velichko@mail.ru.

Дронов Андрей Николаевич, старший преподаватель департамента геологии, горного и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов. *Сфера научных интересов*: Дистанционные методы зондирования Земли, геодезия, геофизика, инженерная геология и гидрогеология, геомеханика. *Контактная информация*: e-mail: dronov_ann@rudn.university.

Терешин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов. *Сфера научных интересов*: мониторинг сдвижений и деформаций массива горных пород и земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых, геодезический мониторинг деформаций при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. *Контактная информация*: e-mail: tereshin_aa@pfur.ru.

MODELING OF UNDERGROUND MINE WORKINGS IN CONSOLIDATING THE SOIL-ARRAY

D.V. Velichko¹, A.N. Dronov, A.A. Tereshin²

¹ Russian State Geological Prospecting University
Miklukho-Maklaya str., 23, Moscow, Russia, 117485

² Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The article deals with the analysis of computer modeling of stability of underground workings in the ground array strengthen cement mixtures. Based criteria by which the results of the computer simulation, the optimum strength of reinforced soil-array. It is shown that this technology can be used to strengthen in the sinking of underground mine workings in the loose soil.

Key words: construction, mining, soil, stability, reinforcement, modeling

REFERENCES

- [1] Croce P., Flora A. Analysis of single-fluid jet grouting // *Geotechnique*. 2000. Т. 50. № 6. Pp. 739—748.
- [2] Modoni G., Croce P., Mongioli L. Theoretical modelling of jet grouting // *Géotechnique*. 2006. Т. 56. № 5. Pp. 335—348.
- [3] Malinin A.G., Gladkov I.L., Malinin D.A. Eksperimental'nye issledovaniya parametrov strujnoj tekhnologii v razlichnyh gruntovyh usloviyah // *Metro i tonneli*. 2010. № 3. S. 32—33.
- [4] Ter-Martirosyan Z.G., Strunin P.V. Strengthening weak soils in the basis of foundation slabs with use of technology of jet grouting // *Vestnik MGSU*. 2010. № 4-2. P. 310—315.

Article history:

Received: 10 December 2016

Accepted: 20 January 2017

For citation:

Velichko D.V., Dronov A.N., Tereshin A.A. (2017) Modeling of underground mine workings in consolidating the soil-array. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(1), 144—148.

Bio Note:

Dmitry V. Velichko, Senior Lecturer, Department of Mining, Russian State Geological Prospecting University. *Research interests:* underground construction, engineering geology and hydrogeology, geomechanics. *Contact information:* e-mail: dmitrii_velichko@mail.ru.

Andrei N. Dronov, Senior Lecturer, Department of Geology, Mining and Petroleum Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests:* Remote sensing techniques, Geodesy, Geophysics, Hydrogeology and Engineering Geology, Geomechanics. *Contact information:* e-mail: dronov_ann@rudn.university.

Tereshin Alexander, Ph.D., Associate Professor of the Department of Geology, Mining and Petroleum Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia. *Research interests:* Monitoring of displacements and deformations of the rock mass and the earth's surface in the development of mineral deposits, geodetic deformation monitoring during construction and operation of buildings and structures. *Contact information:* e-mail: tereshin_aa@pfur.ru.