

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КОТЛОВАНА НА РАСПОЛОЖЕННЫЙ ВБЛИЗИ ТОННЕЛЬ

Обзорная статья. Перевод с английского

Поступила в редакцию 26.01.2023. Принята к публикации 22.02.2023.

© Независимый электронный журнал «ГеоИнфо», 2023

### ЛЮ ЧЭНЬ ЯН

Институт гражданского строительства и архитектуры Цзинаньского университета; Научно-исследовательский центр инженерных технологий для поддержки городского подземного строительства и мониторинга рисков провинции Шаньдун, г. Цзинань, пров. Шаньдун, Китай, liuchenyang919@163.com

### ЛЮ ЦЗЮНЬ ЯНЬ

Институт гражданского строительства и архитектуры Цзинаньского университета, г. Цзинань, пров. Шаньдун, Китай, liujunyan@vip.sina.com

### У ЮН ЧЖЭНЬ

Компания № 3 Engineering Group и компания № 5 Engineering Group корпорации China Railway Group, г. Пекин, Китай, jidigaofei@163.com

### ЛЮ ЮН

Компания Jinan Ding Hui Civil Engineering Technology, г. Цзинань, пров. Шаньдун, Китай, lydinghui@163.com

### АННОТАЦИЯ

Продолжаем знакомить наших читателей с использованием программной продукции южнокорейской компании MIDAS IT, основанной в 2000 году в г. Сеуле. Программы, разработанные в этой компании, используются в 136 странах мира для моделирования, комплексного проектирования и анализа в области транспортного, геотехнического, промышленного и гражданского строительства и обеспечивают безопасность, эффективность и конкурентоспособность инженерных проектов. В том числе с помощью продуктов MIDAS IT был спроектирован знаменитый небоскреб Бурдж Халифа в Дубае ОАЭ и прекрасный трехкилометровый вантовый мост Русский в российском Владивостоке. В 2013 году было открыто российское представительство этой компании – ООО «МИДАС». На территории РФ сейчас представлено три конечноэлементных расчетных комплекса MIDAS IT, адаптированных для соответствия требованиям российских нормативных документов, – midas GTS NX, midas Civil и midas FEA NX. Программа midas GTS NX предназначена для комплексных геотехнических расчетов, моделирования и анализа поведения грунтов и их взаимодействий с инженерными конструкциями.

Представляем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод с английского языка доклада «Анализ влияния строительства котлована на расположенный вблизи тоннель», сделанного в 2018 году на 4-й Международной конференции по применяемым материалам и технологиям производства. Его авторами являются китайские исследователи из Цзинаньского университета и некоторых изыскательских компаний – Чэнь Ян Лю, Цзюнь Янь Лю, Юн Чжэнь У и Юн Лю. Этот доклад в том же году появился на сайте IOP Publishing Ltd – одного из крупнейших в мире издательств, публикующих материалы престижных научных конференций в сферах технических и естественных наук. Данное издательство является дочерней компанией британского научного общества IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшего транснациональным.

Указанный доклад находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет его копировать, распространять, адаптировать,

преобразовывать и использовать (в том числе в коммерческих целях) при указании ссылки на первоисточник и типов изменений. В нашем случае ссылка приводится в конце перевода.

Освоение подземного пространства привело к возникновению ряда строительных проектов, требующих выемки грунта вблизи существующих тоннелей метро, что без принятия специальных мер защиты весьма рискованно. В этой работе [1] рассматриваются строящийся котлован и проходящий под ним наискось тоннель метро в городе Цзинань (провинция Шаньдун, Китай). Минимальное вертикальное расстояние между дном котлована и верхом тоннеля составляет всего 1,8 м, а угол между их направлениями равен 15°.

Авторы доклада [1] выполнили численное моделирование в конечноэлементном программном комплексе midas GTS NX для исследования полей смещений и напряжений тоннеля и вмещающего его грунтового массива в условиях откопки котлована. На основе этого авторы изучили меры по укреплению грунта и проанализировали его результаты. В то же время для подтверждения эффекта укрепления использовались данные мониторинга.

По результатам предварительного анализа, выемка грунта при создании котлована оказала незначительное влияние на горизонтальные смещения тоннеля и большое влияние – на его вертикальные смещения. Без мер по укреплению грунта максимальное смещение тоннеля вверх достигло 23,11 мм, что превысило допустимое значение. За счет инъекционной цементации грунта вокруг тоннеля и приложения нагрузки на дно тоннеля подъем последнего уменьшился до 4,86 мм, что согласовывалось с данными полевых измерений. Эффект принятых защитных мер получился замечательным.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

котлован; тоннель метро; численное моделирование; программный комплекс midas GTS NX; выемка грунта; разгрузка; вертикальные смещения; горизонтальные смещения; напряжения; деформации; риски; безопасность; защитные меры; укрепление грунта; цементация грунта; приложение нагрузки; мониторинг.

#### ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Лю Чэнь Ян, Лю Цзюнь Янь, У Юн Чжэнь, Лю Юн. Анализ влияния строительства котлована на расположенный вблизи тоннель (пер. с англ.) // Геоинфо. 2023. № 1. С. 72–80

# ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF EXCAVATION OF A CLOSE-RANGE FOUNDATION PIT ON AN EXISTING TUNNEL

*Review paper. Translated from English*

*Received 26.01.2023. Accepted 22.02.2023.*

© Independent electronic journal "GeoInfo", 2023

#### CHEN YANG LIU

School of Civil Engineering and Architecture of the University of Jinan, Jinan, Shandong Province, China, liuchenyang919@163.com

#### JUN YAN LIU

School of Civil Engineering and Architecture of the University of Jinan; the Engineering Technology Research Center for Urban Underground Engineering Supporting and Risk Monitoring of Shandong Province, Jinan, Shandong Province, China, liujunyan@vip.sina.com

#### YONG ZHEN WU

№ 3 Engineering Group Ltd. and № 5 Engineering Group Ltd. of the China Railway Group Ltd., Beijing, China, jidigaofei@163.com

#### YONG LIU

Jinan Ding Hui Civil Engineering Technology Co. Ltd., Jinan, Shandong Province, China, lydinghui@163.com

#### ABSTRACT

We are continuing to familiarize the readers with the use of software products of the South Korean company "MIDAS IT" founded in 2000 in Seoul. The programs developed in this company are used in 136 countries of the world for modeling, integrated design and analysis in the field of transport, geotechnical, industrial and civil construction. They ensure the safety, efficiency and competitiveness of engineering projects. Among other things, the famous Burj Khalifa skyscraper in Dubai (UAE) and the beautiful three-kilometer cable-stayed Russian Bridge in Russian Vladivostok were designed with the help of MIDAS IT products. In 2013, the Russian representative office of this company was opened (LLC "MIDAS"). Three MIDAS IT finite element software products adapted to meet the requirements of the Russian regulatory documents are currently presented in the territory of the Russian Federation. They are midas GTS NX, midas Civil, and midas FEA NX. The midas GTS NX program is designed for geotechnical calculations, modeling and analysis of the behavior of soils and their interactions with engineering structures.

Today, we offer to the attention of the readers a slightly abridged and adapted translation (from English into Russian) of the report [1] on the influence of excavation of a close-range foundation pit on an existing tunnel. It was made at the 4th International Conference on Applied Materials and Manufacturing Technology in 2018. The authors of the report are Chinese researchers from the Jinan University and some Chinese site investigation and geotechnical companies. They are Chen Yang Liu, Jun Yan Liu, Yong Zhen Wu, and Yong Liu. In the same year their report was published by IOP Publishing Ltd (at its website in open access) that is one of the world's largest publishers of proceedings of prestigious scientific conferences in the fields of engineering

and natural sciences. IOP Publishing Ltd is a subsidiary of the British scientific society named IOP (Institute of Physics – “Institute of Physics”), which has become transnational.

This report is in open access under the CC BY 3.0 license, which allows it to be copied, distributed, adapted, transformed and used (including for commercial purposes) with indication a reference to the original source and types of changes. In our case, the reference is provided at the end of the translation.

The development of underground space has resulted in a number of construction projects that require soil excavation in the vicinity of existing metro tunnels, which is very risky. This report [1] discusses a constructed foundation pit and an existing subway tunnel running askew under the pit in the city of Jinan (Shandong Province, China). The minimal vertical distance between the bottom of the foundation pit and the tunnel top is only 1.8 m, and the angle between their directions is 15°.

The authors of the report [1] carried out numerical simulations with the use of the midas GTS NX finite element software to investigate the displacement and stress fields of the tunnel under the conditions of the foundation pit excavation. On this basis, they studied some measures of soil reinforcement and further analyzed the results of that. At the same time, the authors used monitoring data to confirm the effect of the reinforcement.

According to the results of the preliminary analysis, the foundation pit excavation influenced the horizontal displacements of the tunnel insignificantly and impacted its vertical displacements greatly. Without the soil reinforcement measures, the maximal upward displacement of the tunnel reached 23.11 mm, which exceeded the permissible one. As a result of grouting the soil around the tunnel and loading the bottom of it, the rise of the tunnel decreased and became 4.86 mm, which was consistent with the monitoring measurements. The effect of the protective measures turned out to be remarkable.

#### KEYWORDS:

foundation pit; subway tunnel; numerical simulation; midas GTS NX software package; soil excavation; unloading; vertical displacements; horizontal displacements; stresses; deformations; risks; safety; protective measures; soil reinforcement; soil grouting; loading; monitoring.

#### FOR CITATION:

Liu Chen Yang, Liu Jun Yan, Wu Yong Zhen, Liu Yong. Analiz vliyaniya stroitel'stva kotlovana na raspolozhennyi vblizi tonnel' (per. s angl.) [Analysis on the influence of excavation of a close-range foundation pit on an existing tunnel]. GeolInfo. 2023. 1: 72–80 (in Russian).

#### ВВЕДЕНИЕ ►

Согласно статистическим данным по состоянию на 31 декабря 2017 года общая протяженность линий метро в Китае достигла 3894,2 км и Китай стал крупнейшим рынком строительства таких линий в мире [Feng Aijun, 2018]. Подземное пространство становится «перегруженным», и рядом с тоннелями метро проводится множество земляных работ. Разгрузка при выемке грунта поблизости обязательно вызывает изменения полей напряжений и смещений во вмещающих грунтах и тоннелях метро, что вызывает дополнительные внутренние усилия и деформации конструкций тоннелей и серьезно угрожает их безопасности. Так, Берфорд [Burford, 1988] впервые сообщил о проходке тоннеля над существующим тоннелем метро, который за 27 лет поднялся в сумме на 50 мм; Чан и др. [Chang et al., 2001] проанализировали повреждения конструкций тоннеля метро в г. Тайбэе из-за выемки грунта при строительстве соседнего котлована. Поэтому очень важно понимать характеристики деформаций и распределение внутренних усилий в существующих тоннелях метро во время проведения поблизости земляных работ [Liu Siqin et al., 2009].

В отношении деформаций существующих тоннелей из-за соседних земляных работ было выполнено множество исследований. Например, Чжан Цзюньфэн и др. [Zhang Junfeng et al.] для анализа деформаций грунта, вызванных разгрузкой при откопке котлована, использовали решение задачи Буссинеска, рассмотрели пространственно-временные эффекты деформаций слабого грунта и предложили метод расчета для прогнозирования смещения тоннеля вверх. Хуан Хунвэй и др. [Huang Hongwei et al., 2012] при проектировании котлована под фундамент Шанхайской набережной выполнили конечноэлементное моделирование и проанализировали закономерности деформаций соседнего тоннеля при различных мерах укрепления.

Результаты указанных выше исследований в основном были получены для типичных территорий со слабым грунтом, таких как в г. Шанхае, но следует отметить, что для других геологических условий решения аналогичных проблем недостаточно.

В данной работе [1] изучаются закономерности деформирования существующего тоннеля метро, проходящего наискось под строящимся в указанных

типичных условиях котлованом (близко к его дну), а также анализируются эффекты защитных мер по укреплению грунта. Затем эффекты укрепления верифицируются с помощью данных полевого мониторинга.

#### УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ►

Общее расстояние между порталами рассматриваемого тоннеля линии R3 метро г. Цзинаня составляет 1033,5 м. Левая линия этого двойного тоннеля проходит наискось под южным участком строящегося котлована (в виде объемной траншеи) для ленточного фундамента. Угол между направлениями продольных осей котлована и тоннеля равен 15°, а минимальное расстояние между дном котлована и верхом свода тоннеля составляет всего 1,8 м.

Площадка строительства котлована расположена на холмистой территории, на которой слои грунтов включают (сверху вниз): насыпной грунт; гравелистый грунт; выветрелый известняк.

Глубина котлована составляет около 9,4 м, ширина – примерно 12,85 м. Для обеспечения устойчивости котлована выбраны наклонные борта крутизной 1:0,5 и анкерные болты для крепления бортов в грунте. Длина анкерных бол-

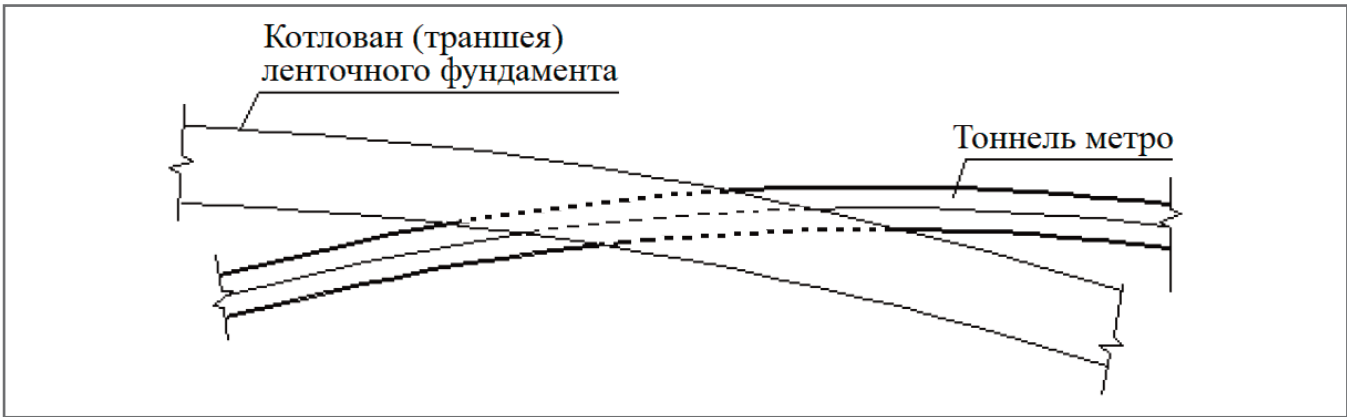


Рис. 1. Схема расположения тоннеля метро и котлована друг относительно друга в плане

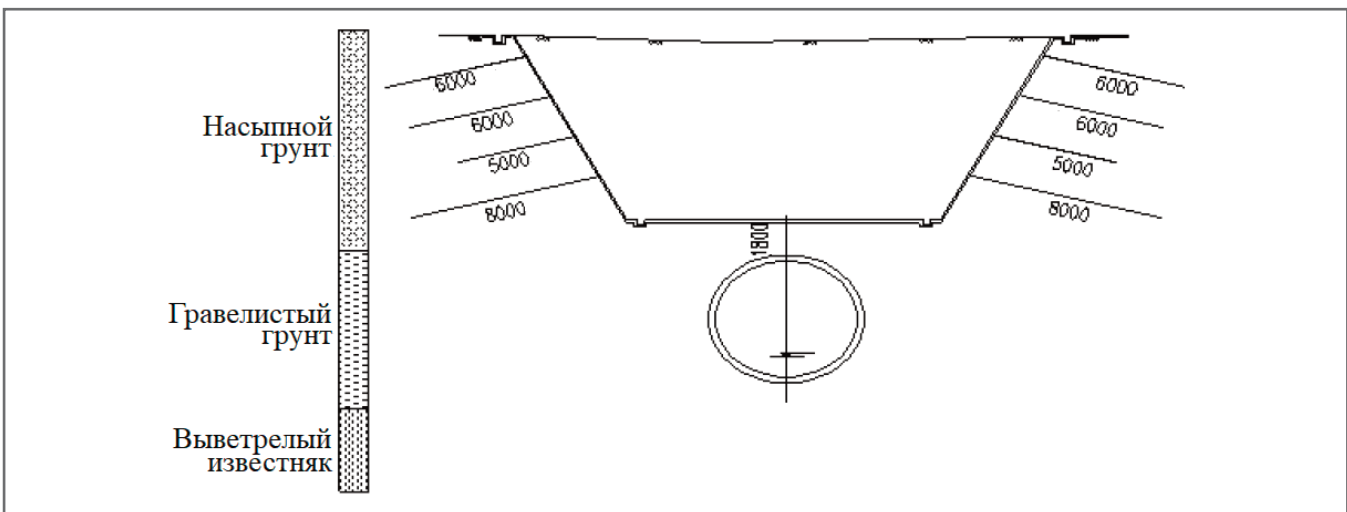


Рис. 2. Схема расположения тоннеля метро и котлована на вертикальном поперечном разрезе. Длина анкерных болтов и расстояние между дном котлована и верхом тоннеля указаны в миллиметрах

Таблица. Основные физико-механические характеристики грунтов, слагающих исследуемую площадку

Грунт (сверху вниз)	Толщина слоя, м	Удельный вес $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Модуль объемной деформации $E_s$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$ (эмпирич.)	Удельное сцепление $c$ , кПа	Угол внутр. трения $\phi$ , °
Насыпной грунт	11	18,9	-	-	26	16,3
Гравелистый грунт	7,9	21,0	4,8	0,18	27	15
Выветрелый известняк	17,5	26,9	7,5	0,21	48	20

тов варьирует от 5 до 8 м, расстояние между ними по горизонтали составляет 1,5 м, по вертикали – 2 м.

Расположение котлована и тоннеля метро относительно друг друга в плане показано на рисунке 1, на вертикальном поперечном разрезе – на рисунке 2. Основные физико-механические характеристики грунтов приведены в таблице 1.

### АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ДЕФОРМАЦИЙ ТОННЕЛЯ, ВЫЗВАННЫХ ОТКОПКОЙ НАД НИМ КОТЛОВАНА ▶

До создания котлована взаимодействие между существующим тоннелем и вмещающим его грунтом было стабильным, то есть тоннель находился в состоянии равновесия сил (рис. 3, а). При откопке котлована над тоннелем

поля смещений и внутренних усилий в грунтовом массиве изменятся и разгрузка из-за выемки грунта будет передана тоннелю. На рисунке 3, б показано, что вертикальная разгрузка вызывает смещение вверх грунта под котлованом с выпором его дна и поднятие находящегося под котлованом тоннеля за счет уменьшения давления на него от вышележащего грунта. А горизонтальные на-

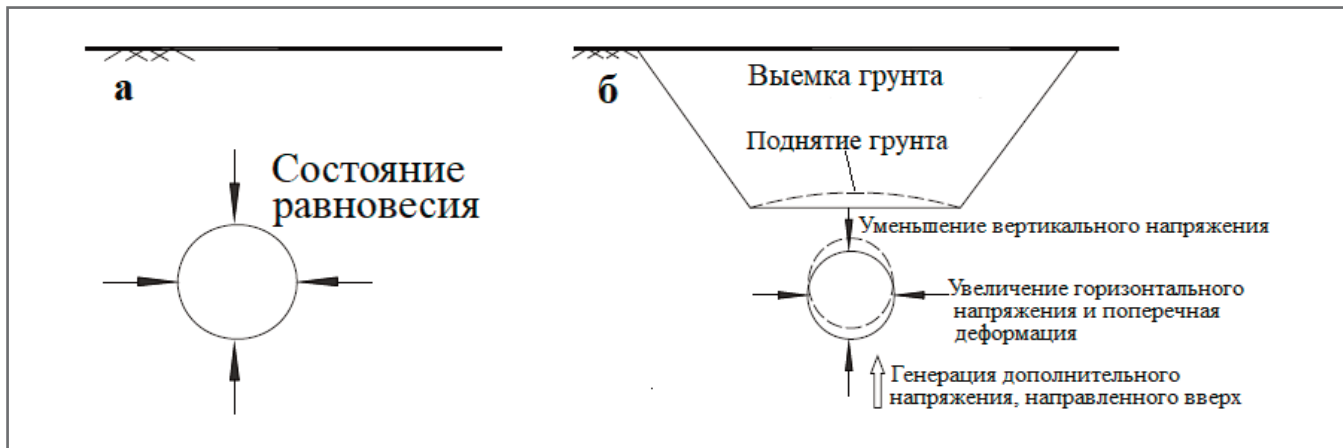


Рис. 3. Состояние равновесия напряжений во вмещающем тоннель грунте до создания сверху котлована (а); дисбаланс напряжений после откопки котлована над тоннелем (б)

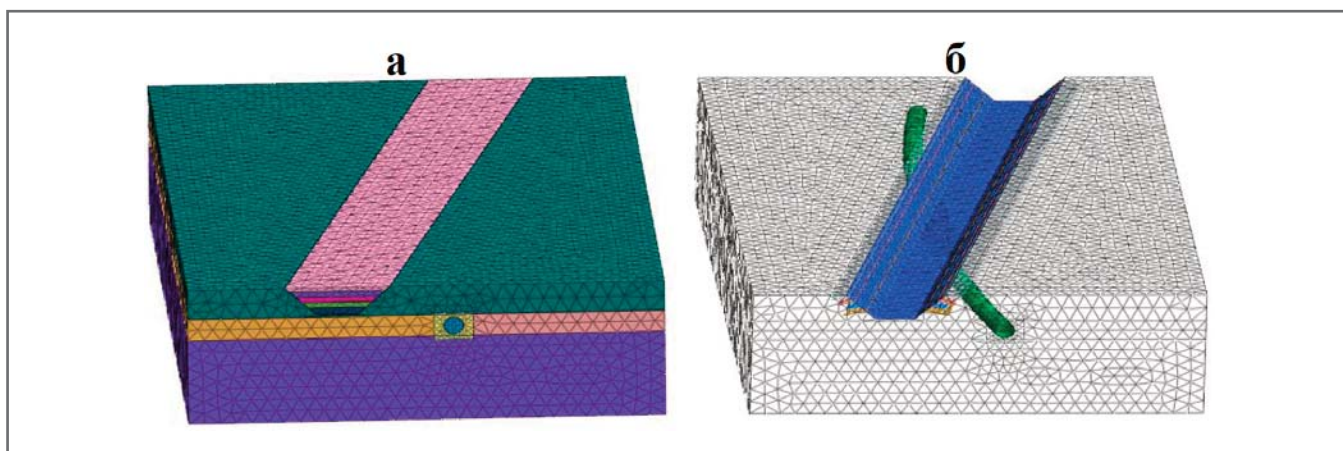


Рис. 4. Численная модель: а – до создания котлована выше существующего тоннеля метро; б – после откопки котлована

пряжения с обеих сторон этого тоннеля, наоборот, увеличиваются из-за сжимающего действия грунта. В результате из-за горизонтального сжатия и вертикального растяжения изначально круглое поперечное сечение тоннеля принимает вертикально вытянутую эллиптическую форму (см. рис. 3, б).

### ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ►

#### Расчетная модель и основные допущения ►

В этой работе для расширенного численного анализа использовалась конечно-элементная программа midas GTS NX ([midasoft.ru/products/midas-gts-nx/?utm\\_source=site&utm\\_medium=geo-info&utm\\_content=article-02-2023](http://midasoft.ru/products/midas-gts-nx/?utm_source=site&utm_medium=geo-info&utm_content=article-02-2023). – Ped.). Размеры полученной компьютерной модели составили 250 м x 150 м x 50 м (соответственно длина, ширина, высота). Эта модель показана на рисунке 4. Для дна модели было принято ограничение горизонтальных и вертикальных смещений, для ее боков – ограничение горизонтальных смещений, а верх был задан как сво-

бодная поверхность без каких-либо ограничений.

Для удобства анализа были сделаны следующие допущения.

1. Для моделирования грунта использовались объемные конечные элементы, для анкерных болтов – встроенные стержневые элементы, для обделки тоннеля – пластинчатые элементы. Все это согласовывалось с принятием комплексной геомеханической (конститутивной) модели Мора – Кулона.

2. Было принято, что один и тот же слой грунта является однородным, непрерывным (без нарушений сплошности) и изотропным.

3. Не учитывалось влияние подземных вод.

#### Моделирование условий строительства ►

Перед откопкой котлована моделировались первоначальные напряжения в грунте *in-situ*, затем моделировалась проходка тоннеля метро (в реальности он был пройден щитовым способом). После этого имитировалась откопка

котлована над тоннелем. Создание котлована производилось по принципу послойной выемки грунта с соответствующим поэтапным креплением бортов, то есть в следующей последовательности сверху вниз: выемка первого слоя грунта → установка первого яруса анкерных болтов → выемка второго слоя грунта → установка второго яруса анкерных болтов → выемка третьего слоя грунта → установка третьего яруса анкерных болтов → выемка четвертого слоя грунта → установка четвертого яруса анкерных болтов → выемка грунта до запроектированного уровня дна котлована.

#### Результаты численного моделирования ►

На рисунке 5 показаны смоделированные вертикальные смещения окружающего котлован грунта и существующего под ним тоннеля. Видно, что на вмещающий котлован грунтовой массив влияет разгрузка после выемки грунта и происходит выпор дна котло-



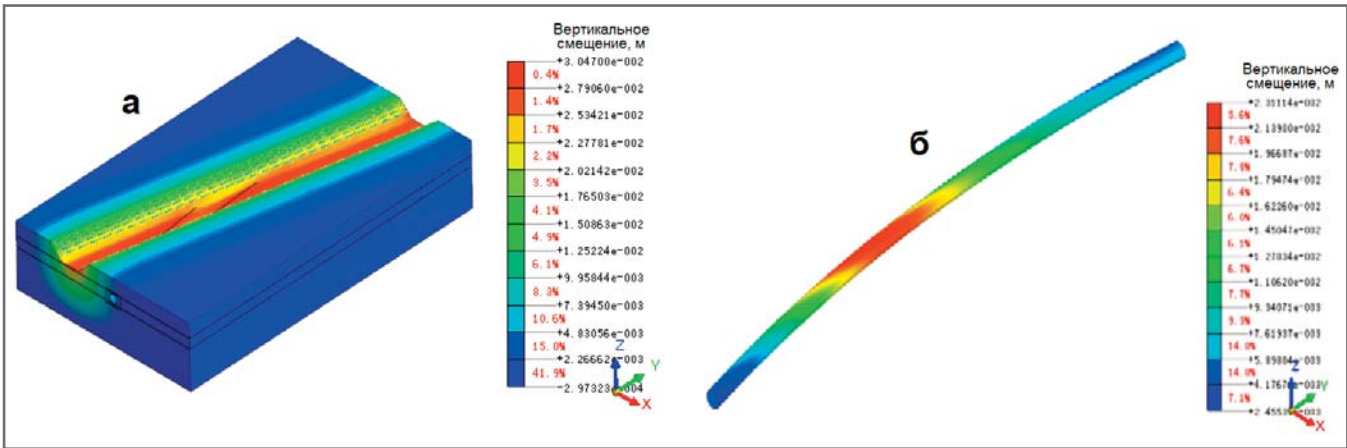


Рис. 5. Вертикальные смещения после откопки котлована: а – для окружающего котлован грунта; б – для существующего тоннеля под котлованом

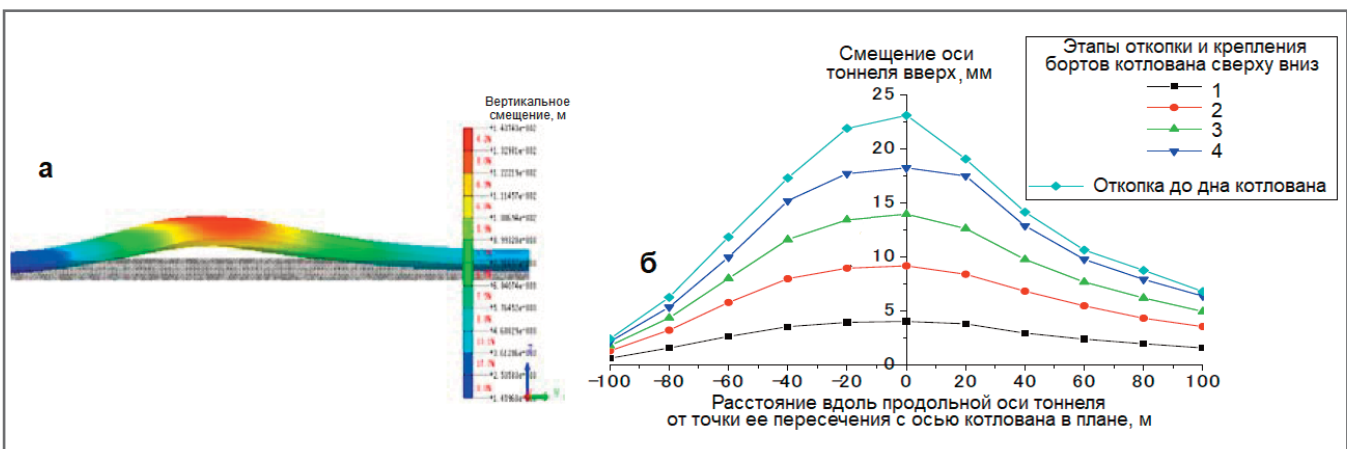


Рис. 6. Сопоставление положений тоннеля до и после его деформирования и его вертикальные смещения (а); смещения тоннеля вверх на разных этапах создания над ним котлована (б)

вана с максимальным смещением вверх 30,47 мм как раз над пересечением котлована с тоннелем в плане. Тоннель также испытывает вертикальные смещения с максимальным подъемом на 23,11 мм непосредственно под котлованом (это не соответствует допустимой деформации, которая составляет 20 мм). Анализ показал, что деформации котлована и тоннеля согласуются друг с другом, а максимальные вертикальные смещения приходятся на вертикальный разрез, проходящий через их пересечение в плане.

На рисунке 6 сопоставлены положения тоннеля до и после его деформирования. На рисунке 7 показаны графики изменений вертикальных смещений тоннеля (его оси) вверх на разных этапах создания котлована. Из графиков видно, что с увеличением глубины выемки грунта из котлована подъем тоннеля под ним постепенно увеличивается, причем максимальное вертикальное смещение происходит непосредственно под котлованом. Подъем тоннеля постепенно уменьшается примерно симмет-

рично в обе стороны от точки пересечения осей тоннеля и котлована в плане. При полной проектной откопке котлована вертикальное смещение тоннеля превышает допустимое.

#### Исследование защитных мер для обеспечения безопасности тоннеля при строительстве котлована ▶

Из приведенного выше анализа видно, что без принятия защитных мер максимальная величина подъема тоннеля составляет 23,11 мм, что превышает допустимую деформацию 20 мм в соответствии с китайским национальным стандартом по мониторинговым измерениям в сфере городского железнодорожного транспорта GB 50911-2013. Чтобы обеспечить безопасность существующего тоннеля, необходимо вовремя принять защитные меры, такие как приложение нагрузки на его дно (величиной 70 кПа) и укрепление вмещающего его грунта путем инъекционной цементации. Поперечное сечение тре-

бующего усиления грунта вокруг тоннеля показано на рисунке 7.

На рисунке 8 показаны вертикальные смещения тоннеля после откопки котлована в случае принятия защитных мер. Видно, что максимальный подъем тоннеля непосредственно под дном котлована благодаря защитным мерам сильно уменьшился – с 23,11 мм до 4,86 мм.

На рисунке 9 сопоставлены максимальные вертикальные смещения тоннеля после откопки котлована при принятии защитных мер и без них. Из графиков видно, что независимо от принятия защитных мер общие тенденции к подъему тоннеля в процессе создания котлована согласуются друг с другом. Но все же в результате укрепления грунта вокруг тоннеля и приложения нагрузки на дно тоннеля его максимальный подъем после откопки котлована уменьшился с 14,37 мм до 4,86 мм, то есть эффект защитных мер очевиден и они могут значительно увеличить безопасность тоннеля метро в процессе строительства над ним котлована.

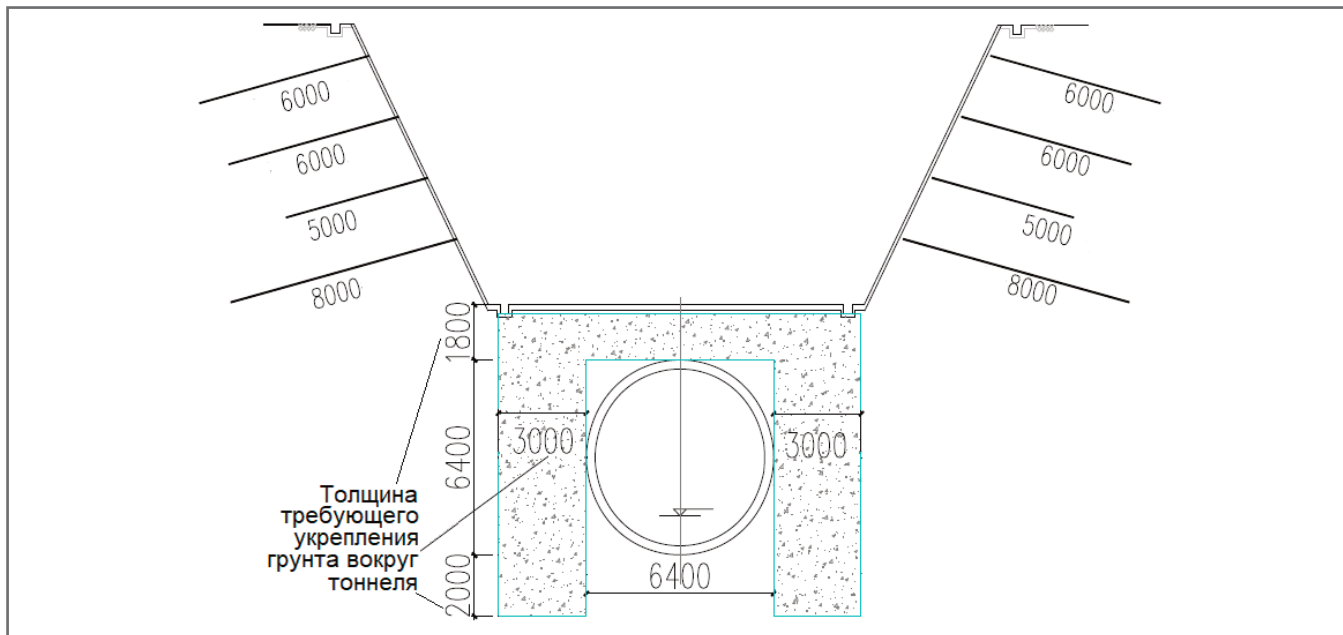


Рис. 7. Поперечное сечение котлована, тоннеля и грунта, требующего укрепления. Размеры указаны в миллиметрах

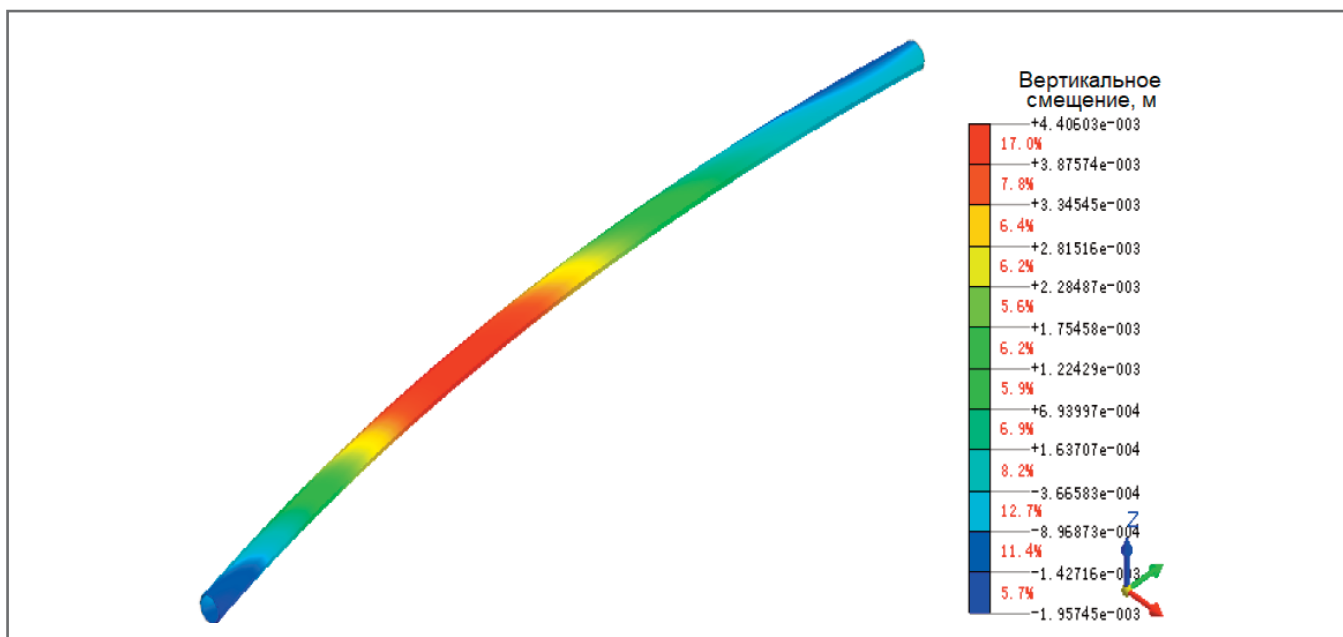


Рис. 8. Вертикальные смещения тоннеля после откопки котлована в случае принятия защитных мер

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ПОВЕДЕНИЯ ТОННЕЛЯ ВО ВРЕМЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НАД НИМ КОТЛОВАНА

Чтобы обеспечить безопасность существующего тоннеля метро во время строительства котлована, для этого тоннеля в зоне его прохождения под котлованом проводился мониторинг ключевых параметров (в случае принятия описанных ранее защитных мер. – *Ред.*).

На рисунке 10 сопоставлены результаты численного моделирования и мони-

торинговых измерений вертикальных смещений свода тоннеля и изменений просвета тоннеля по горизонтали. Из рисунка 10, а видно, что общие тенденции подъема тоннеля в процессе углубления котлована неплохо согласовывались друг с другом. Когда котлован был выкопан до дна, модельный подъем свода тоннеля составил 4,86 мм, а измеренный – 3,04 мм, то есть разница оказалась небольшой. Из рисунка 10, б видно, что просвет тоннеля по горизонтали в обоих случаях менялся относительно мало, но измеренные величины изменений колебались, не показывая очевидной зако-

номерности и не согласуясь с результатами численного моделирования.

### ВЫВОДЫ

1. Поле смещений исходного грунтового массива изменяется по мере строительства в нем котлована. При этом происходит вертикальное смещение вверх существующего под котлованом тоннеля (пересекающего его наискось в плане). Наибольшее смещение происходит непосредственно под дном котлована.

2. Расчеты с помощью численного моделирования показывают, что такие защитные меры, как приложение на-

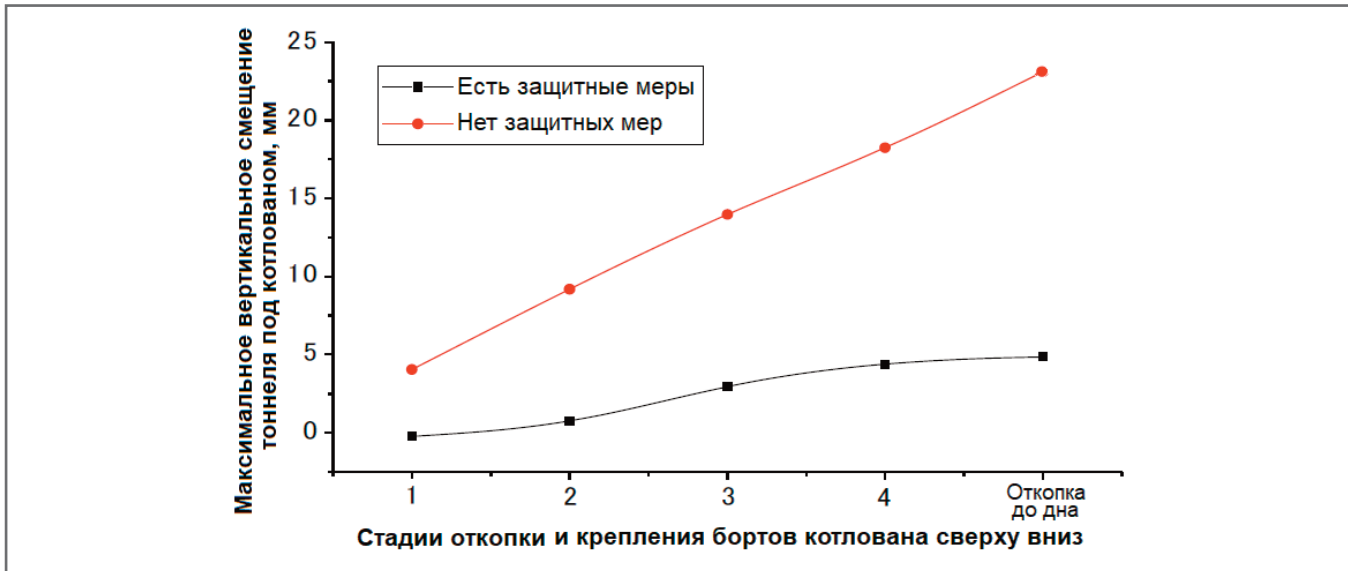


Рис. 9. Максимальные вертикальные смещения тоннеля после откопки котлована при принятии защитных мер и без них

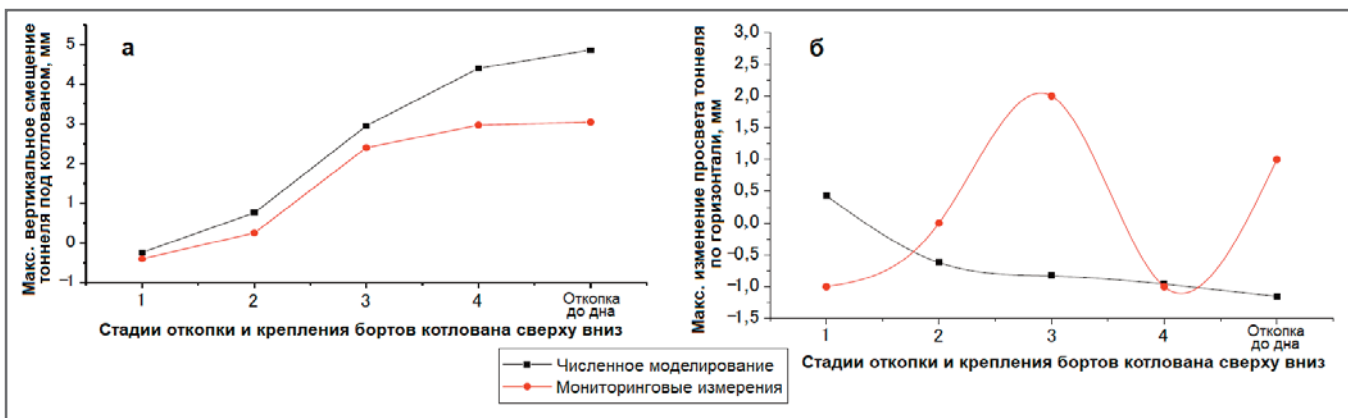


Рис. 10. Сопоставление результатов численного моделирования и мониторинговых измерений: а – для максимальных вертикальных смещений свода тоннеля; б – для максимальных изменений просвета тоннеля по горизонтали

грузки на дно тоннеля и укрепление грунта вокруг тоннеля, могут эффективно уменьшить его подъем в процессе строительства котлована и значительно снизить риски.

3. Результаты численного моделирования и реальных измерений показывают, что горизонтальные смещения тоннеля малы и откопка котлована мало на них влияет. Мониторинговые данные по горизонтальным смещениям тоннеля

являются неупорядоченными и не показывают очевидных закономерностей деформирования.

4. Для решения сложных геотехнических задач численные расчеты (например, в программе midas GTS NX ([midasoft.ru/products/midas-gts-nx/?utm\\_source=site&utm\\_medium=geo-info&utm\\_content=article-02-2023](http://midasoft.ru/products/midas-gts-nx/?utm_source=site&utm_medium=geo-info&utm_content=article-02-2023)), – *Ред.*) могут эффективно предсказать реальные проблемы, связанные с дефор-

мациями, и дать некоторые ориентиры для проектирования и строительства. **и**

*Работа выполнена при поддержке Ключевого научно-исследовательского проекта провинции Шаньдун № 2018GSF120010, Цзинаньского научно-технического проекта № 201705015, Проекта планирования № KY011 Департамента строительства провинции Шаньдун*

## ИСТОЧНИК ДЛЯ ПЕРЕВОДА ►

1. Liu Chen Yang, Liu Jun Yan, Wu Yong Zhen, Liu Yong. Analysis on the influence of excavation close-range foundation pit on existing tunnel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 423. 4th International Conference on Applied Materials and Manufacturing Technology, 25–27 May 2018, Nanchang, China. P. 012026. doi:10.1088/1757-899X/423/1/012026.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ АВТОРАМИ ПЕРЕВЕДЕННОГО ДОКЛАДА [1] ►

1. Huang Hongwei, Huang Xu, Schweiger F. Helmut. Numerical analysis of the influence of deep excavation on underneath existing road tunnel // China Civil Engineering Journal. 2012. Vol. 3. P. 182–189.
2. Burford D. Heave of tunnels beneath the shell center, London, 1959–1986 // Geotechnique. 1988. Vol. 38. № 1. P. 135–137.

3. Chang C. T., Sun C. W., Duann S. W., et al. Response of a taipei rapid transit system (TRTS) tunnel to adjacent excavation // Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research. 2001. Vol. 16. № 3. P. 151–158.
4. Feng Aijun, Lu Fang. Statistics of urban rail transit in mainland China, 2017 // Tunnel Construction (Chinese – English). 2018. Vol. 38. № 3. P. 514–517.
5. Liu Siqin, Yu Xiaolin, Yan Quansheng. Numerical simulation analysis for influence of overhead excavation on existing MTR // Guangdong Architecture Civil Engineering. 2009. Vol. 6. P. 19–20.
6. Zhang Junfeng, Wang Jianhua, Wong Qipinf. Nonlinear rheological analysis on tunnel displacement induced by adjacent excavation in soft clay // Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering. 2012. Vol. 34. № 3. P. 10–15.

#### SOURCE FOR THE TRANSLATION ►

1. Liu Chen Yang, Liu Jun Yan, Wu Yong Zhen, Liu Yong. Analysis on the influence of excavation close-range foundation pit on existing tunnel. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 423. 4th International Conference on Applied Materials and Manufacturing Technology, 25–27 May 2018, Nanchang, China. P. 012026. doi:10.1088/1757-899X/423/1/012026.

#### REFERENCES USED BY THE AUTHORS OF THE TRANSLATED REPORT [1] ►

1. Huang Hongwei, Huang Xu, Schweiger F. Helmut. Numerical analysis of the influence of deep excavation on underneath existing road tunnel. China Civil Engineering Journal, 2012, 3: 182–189.
2. Burford D. Heave of tunnels beneath the shell center, London, 1959–1986. Geotechnique, 1988, 38 (1): 135–137.
3. Chang C T, Sun C W, Duann S W, et al. Response of a taipei rapid transit system (TRTS) tunnel to adjacent excavation. Tunnelling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2001, 16 (3): 151–158.
4. Feng Aijun, Lu Fang. Statistics of urban rail transit in mainland China, 2017. Tunnel Construction (Chinese – English), 2018, 38 (3): 514–517.
5. Liu Siqin, Yu Xiaolin, Yan Quansheng. Numerical simulation analysis for influence of overhead excavation on existing MTR. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2009, 6: 19–20.
6. Zhang Junfeng, Wang Jianhua, Wong Qipinf. Nonlinear rheological analysis on tunnel displacement induced by adjacent excavation in soft clay. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2012, 34 (3): 10–15.

Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал  
**ГеоИнфо**

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>



# НОВЫЙ



## GeoStab

расчет  
УСТОЙЧИВОСТИ  
ОТКОСОВ



Malin|n soft

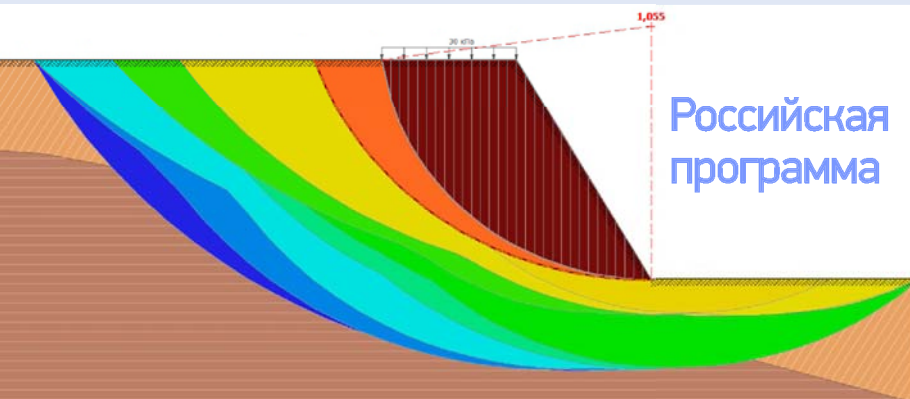
этапность проекта

новые возможности  
анализа

3D визуализатор

экспорт в DXF

новый дизайн  
в темном и светлом  
оформлении



Российская  
программа

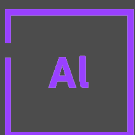
(342) 204-02-08  
[info@malininsoft.ru](mailto:info@malininsoft.ru)  
[www.malininsoft.ru](http://www.malininsoft.ru)



Ограждение  
котлованов  
**GeoWall**



Склоны  
и откосы  
**GeoStab**



2D  
МКЭ  
**Alterra**



Свайно-плитный  
фундамент  
**GeoPlate**