

ГеоИнфо

Независимый электронный журнал

ИЮЛЬ • 07-2022



100+

TECHNO BUILD

IX Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

18-21 октября 2022
Екатеринбург



стать экспонентом

13 000
посетителей

235
экспонентов

500
спикеров

120
секций

25
стран

*показатели 2021 года

ГЛАВНАЯ ТЕМА

- ЮРИЙ САФОНОВ: Чем больше объем строительства, тем выше цена ошибки изыскателей** 6

МЕХАНИКА ГРУНТОВ И ГЕОТЕХНИКА

- Устройство глубоких выемок под фундаменты рядом с метрополитеном. Моделирование и мониторинг. Часть 1** 10

БО ЛЮ

ДИН-ВЭНЬ ЧЖАН

ЧАНГ ЯНГ

Школа транспорта, Юго-Восточный университет Китая, Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

и др.

- Трехмерный конечноэлементный анализ строительства глубокого котлована и оценка реакции грунта** 22

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

- О новом методе анализа надежности откосов и склонов без преобразований существующих программ** 30

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

БОЛДЫРЕВ ГЕННАДИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

Директор по научной работе и инновациям ООО НПП «Геотек»

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ

- Готовые конструкции Маккаферри для подводной укладки** 38

ИВАН КУКЛО

Директор по маркетингу «Маккаферри СНГ»

- Оценка возможностей и надежности гибких систем защиты от камнепадов** 42

ФОЛЬКВЕЙН АКСЕЛЬ

Компания Pfeifer Isofer

ФУЛДЕ МАРСЕЛЬ

Компания Geo-Inventure

КРИГЕР-ХАУКССОН ИНГВАР

Компания Pfeifer Isofer

- Инженерная защита. Ошибки заказчиков, нормативная база, подходы к работе** 48

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА «ГЕОИНФО»

ПРИЛОЖЕНИЕ «ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

- Мнение строительного сектора: как бизнес работает в новой реальности** 52

ГАЛИНА СИЗОВА

Специалист по связям с общественностью ГК SMART ENGINEERS

- Новая реальность — шанс на развитие российского строительного инжиниринга** 58

АЛЕКСЕЙ НИКИТИН

Председатель Совета директоров ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС»

ОЛЕГ МАЛАХОВ

Председатель Совета директоров ГК «ПРАЙМКЕЙ»

- Как дроны показывают высший беспилотаж в изысканиях** 62

АРТУР ХАСИЯТУЛЛИН

Региональный директор TraseAir в России

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



ООО «ПЕТРОМОДЕЛИНГ»



Австрийская компания
«TRUMER SCHUTZBAUTEN GMBH»
ООО «РТ ТРУМЕР»



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

АО «ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗЫСКАНИЙ»



Maccaferri / ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ООО НПП «ГЕОТЕК»



Компания
Mountain Risk Consultancy

СПОНСОРЫ ПРОЕКТА



MalinSoft



ООО «МИДАС» / MIDAS IT



Геотехническая лаборатория
АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»



ООО «НИЖЕГОРОДСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»



ООО «ГЕОИНЖЕРВИС» / FUGRO

EngGeo

Обработка и хранение результатов
инженерно-геологических
изысканий

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ENGCEO»



ООО «ПРОГРЕССГЕО»



НПО «ТЕРРАЗОНД»



ООО «КОМПАНИЯ «КРЕДО-ДИАЛОГ»

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ



Программный комплекс RosScience

ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES

ООО «СОВРЕМЕННЫЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ» (ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES) - ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ROSSCIENCE В РОССИИ



ООО «КБ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ»

ООО НПП «ГЕОТЕК» - ВЕДУЩИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ, МЕРЗЛЫХ, КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ.

ПРИБОРЫ КРИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕРИИ СТАНДАРТ

ХИТ продаж

Прибор компрессионный криологический ГТ 1.1.11



Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14



Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2



Температура окружающей среды **+5 (±2) С°**

Прибор разработан для эксплуатации в холодильной камере (камера не входит в состав прибора)

ВОЗМОЖНОСТИ:

- автоматизированный режим испытания с поддержанием заданной отрицательной температуры каждого образца;
- прибор работает при пониженных температурах;
- автоматическое управление температурой образца;
- испытание до трех образцов в одном приборе;
- измерение температуры каждого образца.

ПРИБОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ:

- **Прибор компрессионный криологический ГТ.1.1.11**
-испытание по ГОСТ 12248.10-2020 на сжатие и сжатие с оттаиванием;
- **Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14**
-испытания по ГОСТ 12248.8-2020 на срез по поверхности смерзания;
-испытания по ГОСТ Р56726-2015 по определению касательных сил морозного пучения;
- **Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2**
-испытания по ГОСТ 12248.7-2020 шариковым штампом.

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ НАС



Высокое качество



Выгодная цена



Надежный сервис



Экономия бюджета испытаний

440004, Россия, г. Пенза, ул. Центральная, строение 1М,
+7(8412) 999-189, 8-800-200-16-05 (звонок по России бесплатный),
sales@npp-geotek.ru, npp-geotek.com

* На правах рекламы



ЮРИЙ САФОНОВ: ЧЕМ БОЛЬШЕ ОБЪЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА, ТЕМ ВЫШЕ ЦЕНА ОШИБКИ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ

Строительные компании, особенно те, которые работают с государственным заказом, остро ощущают на себе проблемы, связанные с некачественными результатами инженерных изысканий, заложенных в проект. Недочеты, как правило, им приходится исправлять за свой счет. В противном случае сроки СМР могут устремиться в бесконечность. Снижение плановой рентабельности строительных компаний с 15 до 2% и менее – одно из следствий этого.

На прошедшем в начале июня Форуме дорожных инициатив ГК «Автодор» мы поговорили с главным инженером ООО «Трансстроймеханизация» Юрием Сафоновым. Речь шла о том, как результаты инженерных изысканий сказываются на сроках и стоимости строительства. Специалист поделился своим опытом, а также указал на ряд административных проблем, которые оказывают серьезное влияние на эффективность работы изыскателей.

Ред.: С вашей точки зрения, какова роль инженерных изысканий в обеспечении быстрого и качественного строительства?

Ю.С.: Ключевая.

Ред.: Как Вы оцениваете в этой связи так называемое параллельное проектирование, когда изыскания, проектирование, экспертиза и строительство, хоть и на разных этапах, но фактически выполняются одновременно?

Ю.С.: На больших стройках параллельное проектирование – вполне рабочий вариант, но только при определенных условиях, иными словами, при продуманной настройке этого процесса. Но сейчас, мне кажется, все участники крупного инфраструктурного строительства сталкиваются с другой проблемой. Я имею в виду фактическое административное закрепление одностадийных инженерных изысканий.

Формально в российских нормативных документах прописано, что инженерные изыскания должны выполняться в два этапа – на стадии П и на стадии РД. Но, к сожалению, административная система сегодня выстроена так, что весь объем изысканий выполняется за один раз только на стадии П. Между тем, когда идет любая большая стройка, всегда возникает необходимость в дополнительных уточняющих исследованиях уже на конкретных точках. Однако поскольку экспертиза уже пройдена, бюджеты все выделены и освоены, сделать это оказывается невозможно. По крайней мере, за деньги заказчика. И либо строитель вынужден тратить на это свои собственные средства, сокращая потенциальную прибыль, либо начинать долгие поиски средств вместе со всеми заинтересованными, что приводит к потере времени.

Инженерные изыскания – процесс, который фактически не прекращается на протяжении всего строительства. Невозможно изучить всю геологию, даже пробурив скважины через каждые 10 метров. Строитель, выходя на стройплощадку, всегда сталкивается с проблемными участками, и это тут же требует дополнительных исследований. Это гибкость инженерного подхода – столкнулся с проблемой, локализовал, изучил, нашел решение. Только так. Но на это нужны деньги, которые по факту все уже освоены. Вот об этом нужно говорить в первую очередь.

Ред.: Как это выглядит на практике?

Ю.С.: Этот вопрос очень остро встает, когда мы уточняем схемы искус-



Источник фото: <https://sochi.com>



Источник фото: <http://tsm.ru/objects/2764/>

ственных сооружений. Их строительство жестко регламентировано. В том числе нормативными документами прописаны требования к количеству скважин, к методам испытаний и т.д. Поэтому если вдруг приходится менять схему того или иного искусственного сооружения, то обязательно требуются дополнительные инженерные изыскания.

Кроме того очевидно, что частота бурения на стадии проектирования, и даже на стадии РД, никогда не покажет реальную картину. Потому что через 10-15 метров от скважины может оказаться совершенно другая геология. Конкретную инженерно-геологическую задачу нужно решать в том месте, где работает экскаватор, а не в стороне. Ведь там могут неожиданно оказаться протоки небольших рек, подземные водооток, участки со сложной геологией. Например, когда

строили Русский мост, под одну из опор с двух разных краев уточняли геологию, и она кардинально отличалась.

Иными словами, качественные инженерные изыскания – ключевое звено качественного строительства.

Ред.: Вы, насколько мне известно, работаете с компанией Петромоделинг, которая позиционирует себя как дорожную организацию, но дающую реально полезные для заказчиков результаты работы. Удастся ли получить ожидаемое качество?

Ю.С.: К сожалению, у нас на всю страну хватит пальцев одной руки перечислить специалистов, которые могут решать сложные инженерные задачи. С одной стороны, хорошо, что они вообще есть. С другой – это крайне плохо, потому что ряд проблем, с которыми

мы сталкиваемся, характерны для любого объекта любого подрядчика. Они могут различаться лишь по своим масштабам и степени влияния на скорость и стоимость строительства. И то, что наша образовательная система не выпускает специалистов должной квалификации в области инженерной геологии, геодезии, разбирающихся в опасных природных процессах – это огромная проблема для всей отрасли. Совершенно не закрыта потребность в грамотных инженерных кадрах. Поэтому я рад, что мы можем работать со специалистами, обладающими академическими знаниями и практическим опытом работы. Это сейчас дорогого стоит.

Ред.: Мне показалось, что руководителя АО «Трансстроймеханизация» на пленарном заседании прошедшей конференции мягко прервали, когда он начал говорить о реальных проблемах дорожной отрасли, и опять переключили диалог на позитивную повестку. Это нормально?

Ю.С.: Я тоже на этот момент обратил внимание. Считаю, что ключевым аспектом любой конференции является возможность откровенно друг другу в глаза сказать о существующих пробле-

мах. Каждый – чиновник, заказчик, подрядчик – смотрят на одну задачу с разных точек зрения. Поэтому обмен мнениями очень важен.

Например, с 2006 по 2019 годы я работал в системе Федерального дорожного агентства и смотрел на все глазами заказчика. А затем оказался по другую сторону баррикад, перейдя на должность главного инженера АО «Трансстроймеханизация». И я точно знаю, что со стороны подрядчика все выглядит совсем иначе. Поэтому данная конференция, с учетом уровня и количества делегатов, – возможность для всех погрузиться в проблемы реального сектора экономики. А вот насколько они готовы это услышать – отдельный вопрос.

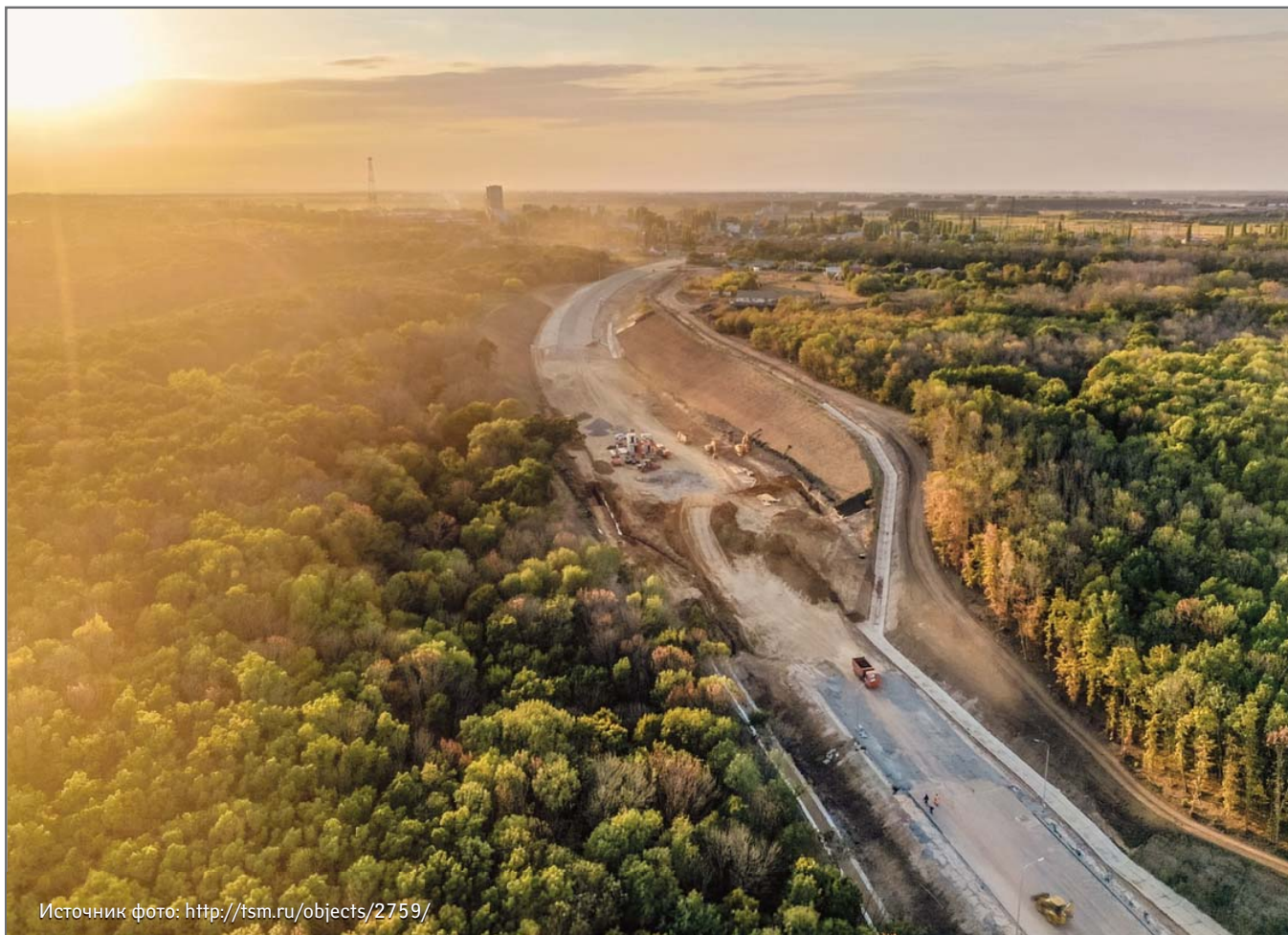
Ред.: Часто приходится слышать, что изыскатели – низший уровень «пищевой цепочки», а строители, являясь гораздо более богатыми организациями, экономят копейки на изысканиях. Это так?

Ю.С.: Я не знаю, откуда берется такое мнение. Я не могу ничего сказать про изыскателей, но строительные организации тоже не богаты. При расчетной рентабельности 15%, реальная прибыль в лучшем случае достигает 2%.

Поэтому, когда у подрядчика масштабная годовая программа, со стороны кажется, что это огромный механизм получения прибыли. Но одновременно чем больше объем строительства, тем выше цена ошибки.

Кроме того, существующая система ценообразования и защиты технических решений связана с «оптимизацией» затрат. Например, для того, чтобы я смог найти правильное техническое решение, я должен изучить территорию гораздо шире, чем полоса отвода дороги. Пробурить скважины для разных технических решений, выбирая оптимальное. Фактически, когда я в экспертизе защищаю итоговый проект, существующая нормативно-правовая база не позволяет мне учесть затраты на те изыскания, которые были сделаны за полосой отвода, но были мне необходимы для того, чтобы отвергнуть непригодные варианты. Эти затраты обнуляются.

Поэтому ситуация с инженерными изысканиями сейчас, наверное, как Тришкин кафтан. С одной стороны, нужно сделать качественно и изучить все, а с другой – влезть в определенный бюджет, который позволит выполнить работу, заплатить людям и получить прибыль. **И**

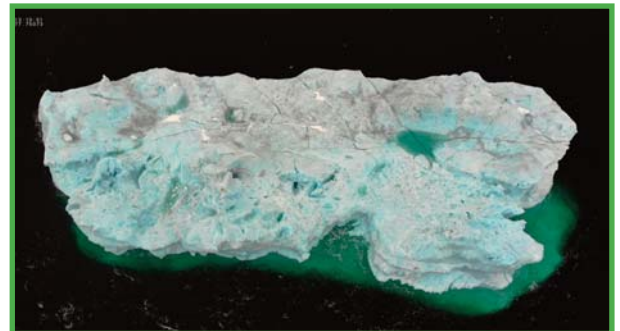


Источник фото: <http://fsm.ru/objects/2759/>



Институт
экологического
проектирования
и изысканий

- Информационное сопровождение управления ледовой обстановкой (ИСУЛО)
- Оперативный спутниковый экологический мониторинг
- Производственный экологический мониторинг
- Программы сохранения биоразнообразия



119234, г. Москва,
Ленинские горы, д. 1, стр. 75Г
Телефон: +7 (495) 930-8751
E-mail: info@iepi.ru

WEB: WWW.IEPI.RU



УСТРОЙСТВО ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК ПОД ФУНДАМЕНТЫ РЯДОМ С МЕТРОПОЛИТЕНОМ. МОДЕЛИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ. ЧАСТЬ 1

БО ЛЮ

Школа транспорта, Юго-Восточный университет Китая, Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

ДИН-ВЭНЬ ЧЖАН

Школа транспорта, Юго-Восточный университет Китая, Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

ЧАНГ ЯНГ

Школа транспорта, Юго-Восточный университет Китая, Главная лаборатория Цзянсу по техническому проектированию городских подземных пространств и экологической безопасности

ЦЯНЬ-БИН ЧЖАН

Кафедра гражданского строительства, Университет Монаша, Австралия

В статье рассматривается устройство глубоких выемок под фундаменты по соседству с двумя функционирующими тоннелями метрополитена, проложенными в алевролитистой глине в городе Нанкин. Чтобы исследовать влияние земляных работ на существующие тоннели, было выполнено численное моделирование, что позволило спрогнозировать возможную деформацию тоннелей до начала строительства. Затем, опираясь на полученные численные результаты, была предложена целевая программа мониторинга, и в течение четырех лет проводился комплексный полевой контроль для мониторинга глубоких выемок грунта и отклика тоннелей.

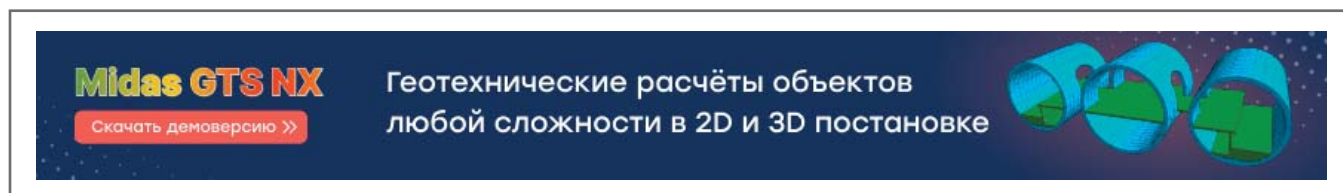
При мониторинге фиксировались следующие параметры: боковой прогиб стены в грунте, осадка свода тоннеля, горизонтальное смещение линии пят, схождение диаметра и ширина раскрытия секционного соединения. По результатам мониторинга была проанализирована эволюция деформации тоннелей, а также была оценена безопасность тоннельных конструкций. Затем была предложена и принята методика цементации микронарушений деформированного тоннеля, а также оценена эффективность таких корректирующих действий.

Результаты показывают, что в развитии осадки свода тоннеля, горизонтального перемещения линии пят и сходимости

диаметра можно выделить фазы медленного, быстрого и стабильного поступательного увеличения, которые соответствуют этапам предварительных, основных и завершающих земляных работ глубокой выемки. Исходя из принципа простой балки, диапазон осадки тоннеля может быть принят в два раза большим, чем расстояние между наблюдаемым сечением с максимальной осадкой и сечением с нулевой осадкой. В процессе цементации микронарушений деформированный тоннель проходит этап коррекции и этап упругого подъема, а дополнительная деформация, вызванная соседними земляными работами, поддается корректировке путем цементации микронарушений.

Моделирование и расчет были выполнены в 3D-постановке в программном комплексе midas GTS NX.

Перевод, адаптация и редактирование выполнены руководителем технического отдела MIDAS IT Россия и СНГ Константином Скоробогатько.



Введение ▶

Быстрое развитие метро в последние годы стало важным шагом к снижению транспортных заторов в густонаселенных городах [20,22]. В то же время, чтобы облегчить перемещение и повысить эффективность использования подземных пространств, строятся все больше и больше высотных зданий, а их фундаменты располагаются в непосредственной близости от существующих линий метрополитена. Земляные работы для устройства таких фундаментов неизбежно изменяют первоначальные поля напряжений и смещение грунта основания и таким образом влияют на существующие конструкции тоннелей метрополитена [3]. Если деформация или смещения, вызванные земляными работами, превышают допустимые пределы конструкции тоннеля, то тоннель может быть серьезно поврежден [38].

Чтобы лучше понять влияние земляных работ на существующие тоннели, исследователями были проведены некоторые теоретические расчеты (см. Источники [19,20, 38 45, 46, 47], численное моделирование [7; 14; 17; 33, 35, 36, 37; 34, 53] и испытания моделей [15, 22, 27, 28, 34]. Тем не менее, вышеперечисленные исследователи в основном сосредотачивались на тех случаях, когда выемка проводилась непосредственно над существующим тоннелем, т.е. изучалось влияние вертикальной разгрузки на тоннели. Более того, взаимодействие между выемкой и тоннелем в основном рассматривалось как задача плоского деформированного состояния, что в значительной степени отличается от реальных условий и не может верно отразить механизм взаимодействия между ними. Пространственное воздействие от выемки не удалось полноценно рассмотреть из-за небольшого объема изучен-

ных выемок. Напротив, не многие исследователи сосредотачивались на тех случаях, когда выемка выполнялась параллельно существующему тоннелю, т.е. изучали влияние боковой разгрузки на тоннели. Чэн и соавторы [1] описывали реакцию тоннелей Тайбэйского метрополитена (TRTS) на близлежащие пятиуровневые выемки под фундаментами.

В своде тоннеля наблюдались трещины, а бетонная плита на обратном своде оказалась отделенной от задних сегментов. В результате поврежденным тоннелям потребовался ремонт путем монтажа стальных сегментов и цементации обратного заполнения [2]. Ши и соавторы [32] исследовали взаимодействие между выемкой под треугольный фундамент и соседним тоннелем с проходкой открытым способом при помощи полевого мониторинга, но при этом акцент был сделан на производительность земляных работ, а для расчета оказались доступны только ограниченные данные относительно реакции тоннеля. Чэн и соавторы [4] также изучили влияние крупных земляных работ на существующие тоннели метрополитена, и их исследование было сосредоточено на нескольких методах численного моделирования, направленных на снижение воздействия от выемки грунта. Кроме того, используемыми данными о деформации тоннеля стали только результаты заключительного этапа, и эти данные не могли отразить весь процесс производства земляных работ на тоннель.

В этой статье рассмотрены глубокие выемки грунта под фундаментами, прилегающие к двум существующим тоннелям метрополитена, проложенным в алевритистой глине. Чтобы понять механизм влияния земляных работ на конструкцию тоннеля, перед строительством было проведено численное моде-

лирование, что позволило прогнозировать возможную деформацию тоннелей, а затем применительно к полученным численным результатам была предложена целевая схема мониторинга и проведен комплексный полевой контроль в течение четырех лет. При мониторинге фиксировались следующие параметры: боковой прогиб стены в грунте, осадка свода тоннеля, боковое смещение линии пят, сходимости диаметра и ширина раскрытия секционного соединения. На основании полученных результатов было проанализировано развитие деформации тоннеля, а также была проведена оценка безопасности его конструкции. Затем была принята методика цементации микронарушений деформированного тоннеля.

Надеемся, что информация, представленная в настоящем исследовании, окажется полезной для аналогичных проектов.

НАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ

Глубокие выемки под фундамент ▶

На рисунке 1 представлена схема устройства глубокой выемки в городе Нанкин (Китай). Она расположена на востоке среднего шоссе Цзяндун, к западу от шоссе Юньзинь, к югу от улицы Сяоцзе и к северу от улицы Иньтянь. Так как здесь будет строиться коммерческий комплекс с тремя сверхвысотными зданиями, масштаб котлована очень большой. Площадь выемки в плане – 53 000 м², периметр – 940 м, ее максимальная глубина достигает 34 м. Это крупнейший и самый глубокий котлован, работа над которым ведется в Нанкине в настоящее время.

На рисунке 2 представлено поперечное сечение котлована под фундамент



Рис. 1. План расположения выемки грунта под фундамент (по данным Google)

и прилегающих тоннелей. Глубокая выемка имеет среднюю глубину в 22,3 м и удерживается стеной в грунте в сочетании с железобетонными распорками. Общая толщина стены в грунте составляет 1 м, а со стороны существующих тоннелей она увеличена до 1,2 м. Чтобы минимизировать воздействие процесса осушения на тоннели метрополитена, дно стены в грунте на глубине 65 м располагается ниже водоносного горизонта, ограниченного водоупором, для изоляции подземных вод. Четыре уровня железобетонных распорок расположены на отметках $-1,8$ м, $-8,1$ м, $-13,5$ м и $-18,2$ м ниже поверхности грунта и поддерживаются стальными решетчатыми колоннами в вертикальном направлении. Длина и ширина поперечного сечения распорок варьируются в разных положениях в пределах от 0,6 м до 1,6 м.

Устройство выемки под фундамент проводится траншейным способом, а грунт извлекается постепенно продвижением сверху вниз. Бетонные распорки устраиваются сразу после проведения выемки каждого слоя грунта. В таблице 1 подробно перечислены этапы производства работ. С момента возведения стены в грунте в октябре 2011 года до момента завершения устройства перекрытий в январе 2016 года прошло более четырех лет. Весь этап возведения был разделен на подэтапы предварительных, основных и завершающих земляных работ.

Существующие тоннели 2-й линии метро города Нанкин ▶

2-я линия метро города Нанкин, открытая в 2010 году, является основной

линией, соединяющей северо-восточные городские районы с юго-западными. Она состоит из 37,95 км рельсовых путей и 26 станций. Большинство участков представляют собой подземный щитовой тоннель, а большинство станций являются подземными. Как показано на рисунке 1, 2-я линия метро города Нанкин расположена со стороны западной части котлована под фундамент, а рассматриваемые тоннели находятся между станцией метро Jiqingmen Street и станцией метро Xinglong Street. Протяженность тоннелей, граничащих с боковой линией стены в грунте глубокого котлована, К7-893 ~ К8-246, в сумме составляет 353 м. Как показано на рисунке 2, тоннели (т.е. восходящий тоннель и нисходящий тоннель) залегают в илистой алевритистой глине, и средняя глубина заглубления свода тоннеля составляет 15 м. Минимальное расстояние от правой линии пят восходящего тоннеля до стены в грунте составляет 33 м, что находится в пределах зоны защиты (50 м), предусмотренной Техническим стандартом для ограждающих конструкций городского железнодорожного транспорта (СЖТ/Т 202-2013) и Правилами управления железнодорожным транспортом города Нанкин.

На рисунке 3 представлено поперечное сечение тоннеля, сооруженного щитовым способом. Тоннель имеет внутренний диаметр 5,5 м и облицовывается железобетонными секциями толщиной 350 мм и шириной 1,2 м. Секции соединяются с помощью загнутых болтов как в продольном, так и в кольцевом направлении.

Геологические и гидрологические условия ▶

Участок строительства расположен в пойме реки Янцзы. Мягкий грунт недавнего образования в этой области чрезвычайно слаб и неравномерно распределен, что отрицательно влияет на инженерно-технические работы [13]. Для получения профиля и параметров грунта до начала земляных работ была проведена серия геотехнических изысканий. Программы исследований состояли из отбора проб из скважины и связанных с ними полевых и лабораторных испытаний. Полевые испытания включают в себя стандартное испытание грунта на пенетрацию, динамическое зондирование грунта, статическое зондирование грунта, испытание плоским пенетрометром, пробную откачку и т.д. Лабораторные испытания включают в себя испытание основных физических свойств, компрессионные испытания, испытания на прямой сдвиг, испытания на трехосный срез и т.д. На рисунке 4 представлено сечение грунта и некоторые типовые физико-механические параметры. Из сечения видно, что грунт до глубины 80 м сверху вниз состоит из различных осадочных отложений (слой ①-1), однородных осадочных отложений (слой ①-2), алевритистой глины (②-1), илистой алевритистой глины (②-2), илистой глины (②-3), алевритистого мелкозернистого песка (②-4), алевритистого мелкозернистого песка (②-5), песка средней крупности (④), сильноветреной заиленной алеврито-глинистой породы (⑤-1) и средневетреной заиленной алеврито-глинистой породы (⑤-2). Илистая алевритистая глина, в

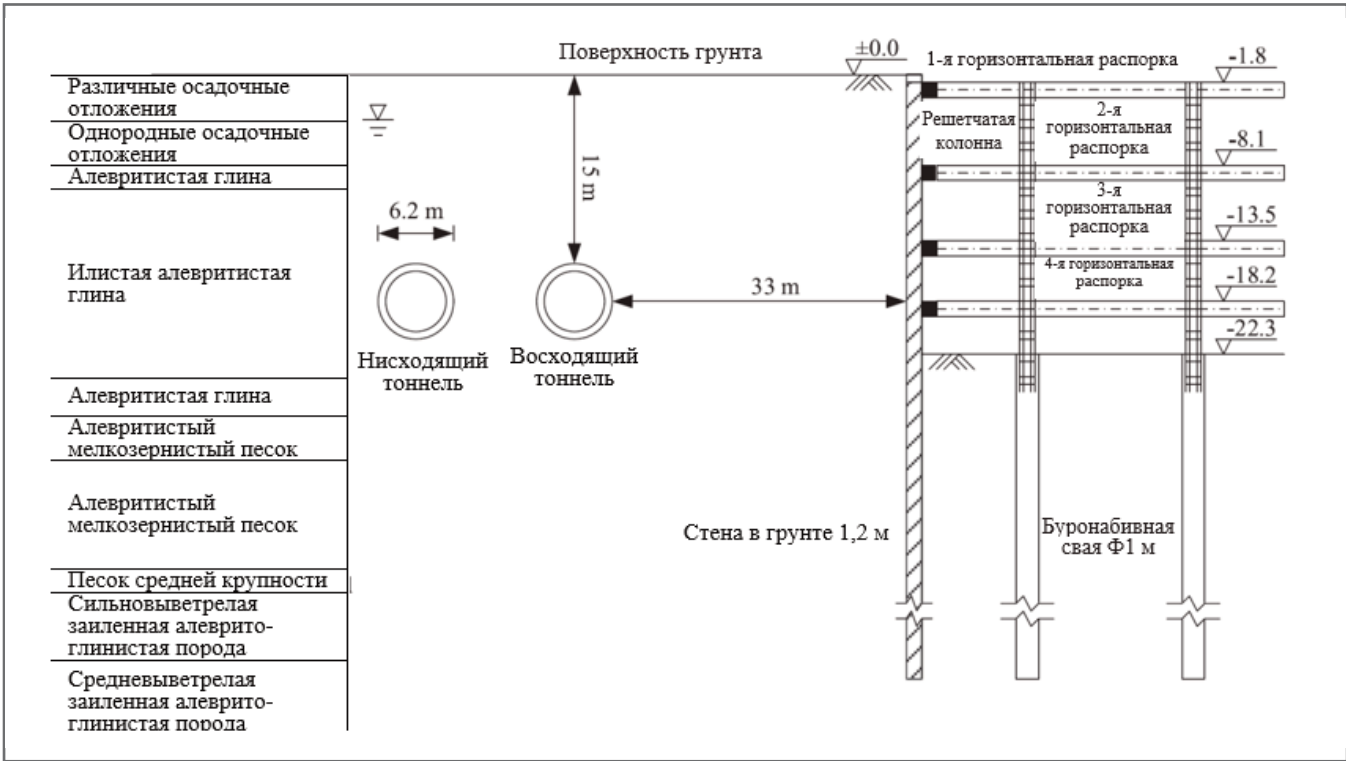


Рис. 2. Поперечное сечение тоннелей и выемки под фундамент

Таблица 1. Разбивка этапов производства работ

Этап	Дата	Вид строительных работ
Предварительные земляные работы	21.10.2011-30.06.2013	Возведение стены в грунте
	01.07.2013-07.12.2013	Устройство буронабивных свай
	07.12.2013-15.04.2014	Выемка грунта до уровня 1 (-2,3 м), устройство горизонтальной распорки 1 (-1,8 м)
Основные земляные работы	16.04.2014-14.07.2014	Осушение, выемка грунта до уровня 2 (-8,6 м), устройство горизонтальной распорки 1 (-8,1 м)
	15.07.2014-24.09.2014	Остановка строительства в связи с юношескими Олимпийскими играми в Нанкине
	24.09.2014-01.12.2014	Осушение, выемка грунта до уровня 3 (-14 м), устройство горизонтальной распорки 3 (-13,5 м)
	18.12.2014-10.02.2015	Осушение, выемка грунта до уровня 4 (-18,7 м), устройство горизонтальной распорки 4 (-18,2 м)
	21.03.2015-01.08.2015	Осушение, выемка грунта до дна (-22,5 м), устройство фундаментной плиты
Завершающие земляные работы	01.08.2015-01.10.2015	Удаление горизонтальной распорки 4, устройство перекрытия подземной части 4-го уровня
	01.10.2015-05.11.2015	Удаление горизонтальной распорки 3, устройство перекрытия подземной части 3-го уровня
	16.11.2015-25.12.2015	Удаление горизонтальной распорки 2, устройство перекрытия подземной части 2-го уровня
	07.12.2015-30.01.2016	Удаление горизонтальной распорки 1, устройство перекрытия подземной части 1-го уровня

которой залегают тоннели, имеет содержание воды 38,4%, коэффициент пористости 1,07, индекс текучести 1,13 и компрессионный модуль 3,23 МПа, что указывает на то, что данный слой грунта находится в текучепластичном состоянии и имеет низкую прочность и высокую сжимаемость. Более того, показатель чувствительности 2,88 указывает на то, что данный слой грунта обладает ярко выраженной прочностной характеристикой, и прочность грунта может значительно снизиться после того, как он будет нарушен строительными работами по соседству.

Согласно разрезу грунта, полученному в результате инженерно-геологических изысканий, грунтовые воды на глубине проведения исследований содержат фреатические воды и артезианские напорные воды. Фреатические воды находятся главным образом в поверхности-

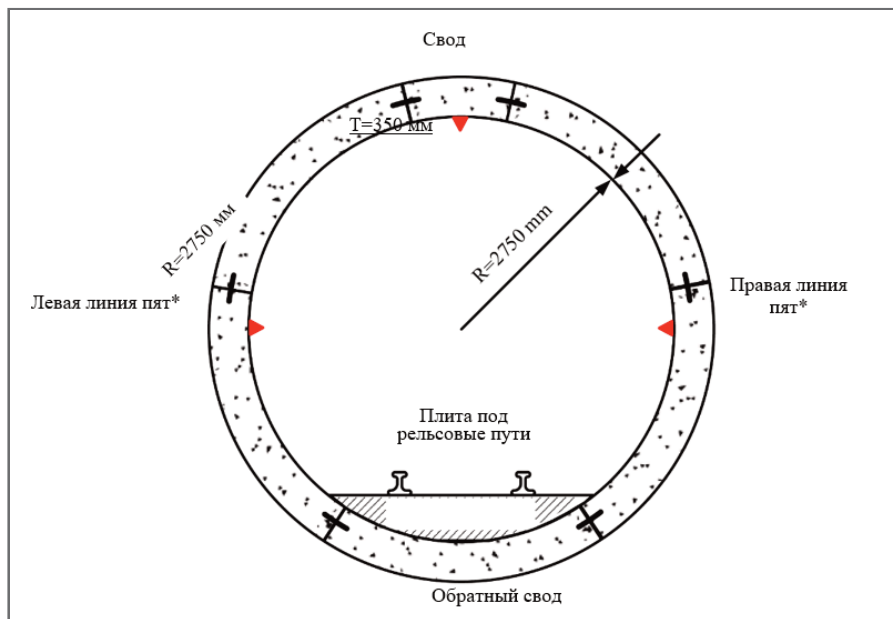


Рис. 3. Поперечное сечение тоннеля, сооружаемого щитовым способом

*Линия пят - точка, где изогнутая часть свода тоннеля соединяется с верхней частью стены

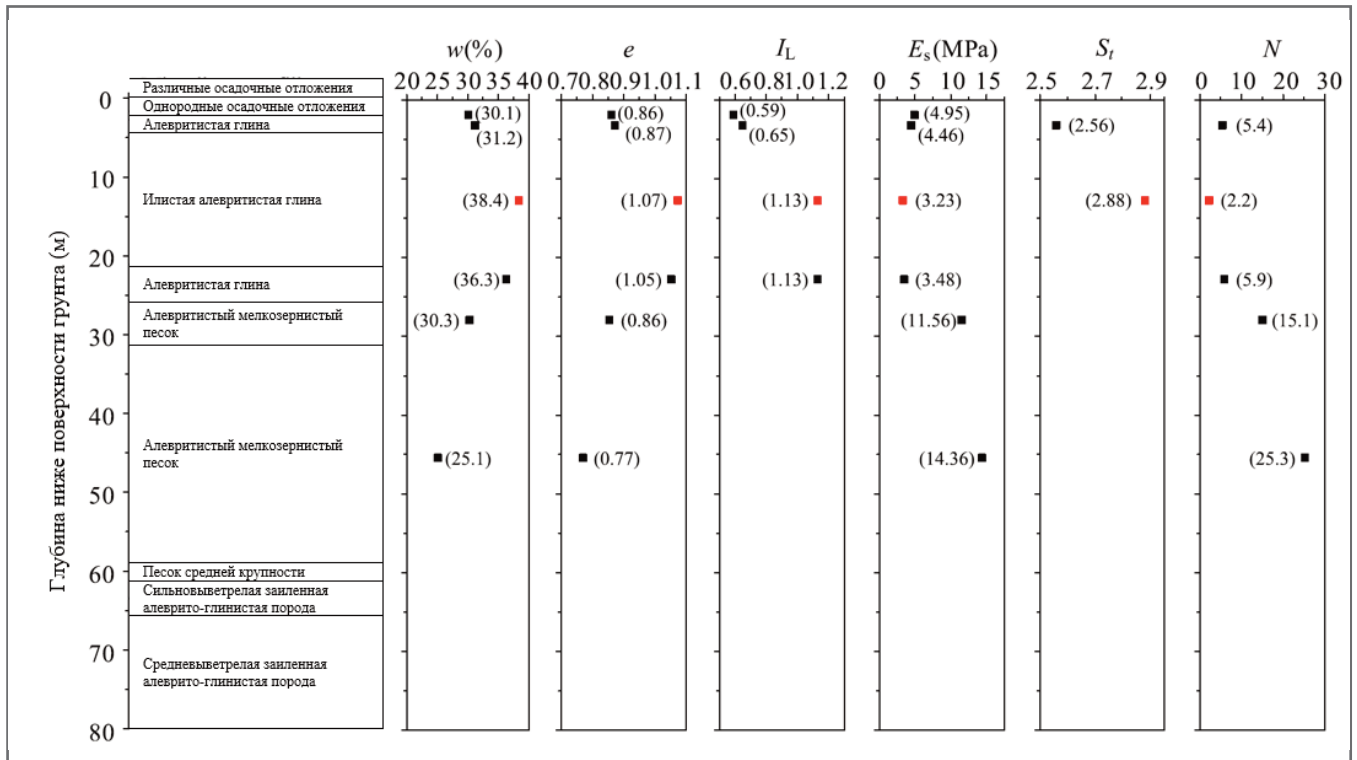


Рис. 4. Типовые физико-механические параметры грунта

Примечание: w = водосодержание, e - коэффициент пористости, I_L = индекс текучести, E_s = компрессионный модуль, s_t = чувствительность, N = количество ударов по стандартному испытанию грунта на пенетрацию (SPT).

ных осадочных отложениях (слой ①-2) и глине недавнего образования (слой ②-1, ②-2, ②-3) под ними, а уровень фреатических вод располагается на глубине -1,5 м ниже поверхности грунта. Артезианская напорная вода находится главным образом в алевритовом мелкозернистом песке (слой ②-4, ②-5) и песке средней крупности (слой ④), которые характеризуются высокой проницаемостью.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОЛЕВОЙ КОНТРОЛЬ

Численное моделирование

Чтобы спрогнозировать возможную деформацию тоннелей, вызванную устройством смежных выемок грунта под фундаменты, а затем предложить целевую схему мониторинга тоннелей в соответствии с деформационными характеристиками, было проведено численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) при помощи программного комплекса MIDAS GTS NX. На рисунке 5 представлена трехмерная конечно-элементная модель, созданная для этого случая. Модель размером 490 м × 380 м × 80 м имеет 56 139 узлов и 166 610 элементов, в которых каждый слой грунта принят однородным и равным по толщине, вне зависимости от перепада отметок. Блоки грунта и тоннеля

были смоделированы при помощи твердотельных элементов, стена в грунте была смоделирована при помощи элементов оболочек, а внутренние горизонтальные распорки и решетчатые колонны были смоделированы при помощи балочных элементов. С целью создания сетки конечных элементов и повышения сходимости расчета вместо тетраэдральных элементов были использованы элементы гексаэдров, а для повышения точности расчета был уменьшен размер элементов вблизи тоннелей и стены в грунте. Для граничных условий модели четыре окружающие поверхности были ограничены горизонтальным закреплением в нормальном направлении, нижняя поверхность была ограничена горизонтальным и вертикальным закреплением, а верхняя поверхность была оставлена свободной. Касательно условий нагружения, динамическая циклическая нагрузка, создаваемая поездами метро, существует в тоннелях и обычно рассматривается, как одна из причин, вызывающих длительную деформацию тоннелей и подстилающего грунта. Янг и Лю [13] изучили длительную осадку тоннеля, сооруженного щитовым способом, при циклическом нагружении от поездов в слое илистой глины в городе Нинбо. Установлено, что с увеличением времени работы тоннеля суммарная осадка

грунтового основания увеличивается экспоненциально и, как правило, достигает стабильного состояния после 10 лет эксплуатации тоннеля.

В том числе осадка для них через 1 год составляет около 50% от общей осадки, в то время как осадка через 5 лет – около 80% от общих показателей осадки. Гэ и соавторы [11] проанализировали продолжительную осадку обратного свода тоннеля, сооруженного щитовым способом, относительно поверхности грунта в слое мягкой глины в городе Шанхай. Выяснилось, что относительная осадка, как правило, достигает стабилизации после 8 лет эксплуатации тоннеля, а осадка, вызванная вибрацией поездов, после 1, 2, 3 и 4 лет работы составляет около 45%, 69%, 82% и 90% от окончательных показателей общей осадки соответственно. Ди и соавторы [6] анализировали наблюдаемую длительную осадку тоннеля с проходкой открытым способом на 10-й линии Метрополитена Нанкина в течение 5,75 лет после установки железнодорожных путей. В течение первых двух лет осадка тоннеля происходила быстро, затем интенсивность осадки постепенно снижалась. Осадку спустя 2 года составляла примерно 75% от окончательных показателей суммарной осадки. Тоннель 2-й линии Метрополитена Нанкина, сооруженный щитовым способом и исследуе-

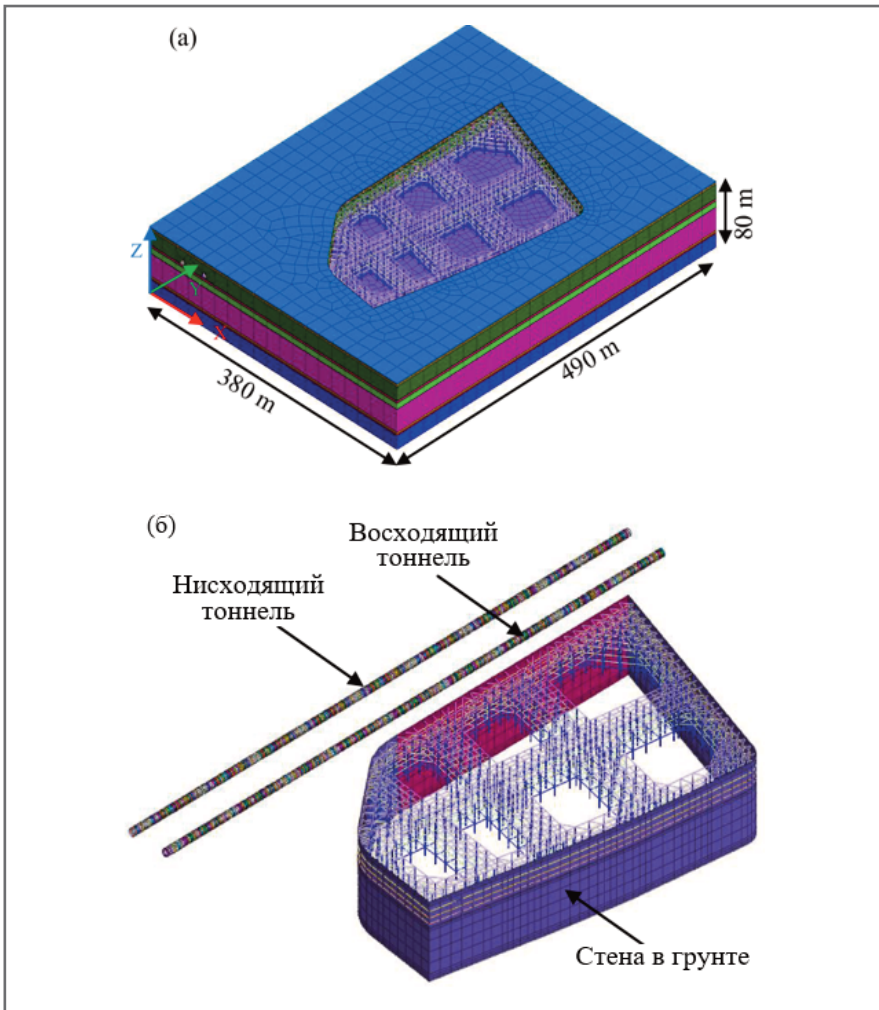


Рис. 5. Трехмерная конечно-элементная модель для рассматриваемого случая (а) Элементы для слоев грунта (б) Элементы для тоннелей и ограждающих конструкций

мый в статье, был проложен в слое илистой алевритистой глины и открыт для эксплуатации в мае 2010 года. Согласно приведенным выше исследованиям, можно заключить, что осадка практически достигла своих окончательных показателей до начала основных земляных работ под фундамент (апрель 2014 г.). Более того, внимание исследования было акцентировано на отклик существую-

щего тоннеля на близрасположенные земляные работы под фундамент. Таким образом, в этом численном моделировании не учитывается влияние циклической нагрузки, вызванной поездом.

В таблицах 1 и 3 представлены исходные параметры материалов грунтов и подпорных сооружений выемок под фундамент соответственно. Для слоев грунта использовалась модель упроч-

няющегося грунта (Hardening Soil) [30], а линейно-упругая модель использовалась для материала подпорных сооружений. Некоторые исследования [8, 41] показали, что модель упрочняющегося грунта может учитывать характеристики упрочнения, указывать на разницу между нагружением и разгрузкой, а определенная жесткость грунта зависит от изменения напряжений во времени и пути нагружения. Используя эти данные, результатами моделирования можно одновременно представить обоснованные параметры деформации стены в грунте и деформации грунта за стеной, что подходит для численного моделирования глубоких выемок в неустойчивой среде. Параметры модели упрочняющегося грунта в основном были получены из данных полевых и лабораторных испытаний, а параметры подпорных сооружений выемок грунта под фундамент были получены в основном из проектных чертежей. Следует отметить, что принятые здесь параметры являются лишь предварительными, а действительные исходные параметры необходимо определить после корректировки в соответствии с результатами натурного мониторинга.

Моделирование процесса возведения таких этапов как установка стены в грунте, осушение, выемка грунта и устройство горизонтальных распорок, перечисленных в Таблице 1, было реализовано путем активации и деактивации сетки элементов и применения граничных условий и условий нагружения. Основной процесс моделирования включал в себя следующее: во-первых, приложение силы тяжести для получения поля начальных напряжений на участке. Во-вторых, были установлены стена в грунте и решетчатые колонны. Затем, после осушения до 0,5 м ниже каждой выемки забоя, грунт удалялся, и возводились внут-

Таблица 2. Параметры модели упрочняющегося грунта

Soil layer	γ (kN/m ³)	c (kPa)	φ (°)	ψ (°)	E_{50}^{ref} (MPa)	E_{oed}^{ref} (MPa)	E_{ur}^{ref} (MPa)	m	ν_{ur}	p^{ref} (kPa)	R_f	K_0
⊙-1	18.5	6	15	0	7.2	6	42	0.8	0.35	100	0.9	0.54
⊙-2	19.1	15	12	0	7.8	6.5	45.5	0.8	0.35	100	0.9	0.52
⊙-1	19.1	15	16	0	7.6	6.2	43.2	0.8	0.37	100	0.7	0.5
⊙-2	18.1	12	15	0	6.8	5.5	38.5	0.8	0.39	100	0.6	0.6
⊙-3	18.2	11	18	0	8.6	7.2	51.4	0.8	0.37	100	0.7	0.54
⊙-4	19	8.2	31	1	19.8	15.4	62	0.8	0.35	100	0.9	0.4
⊙-5	19	8.3	32	2	25	22.5	88.6	0.8	0.35	100	0.9	0.34
⊙	19	8.3	32	2	30	30	120	0.8	0.35	100	0.9	0.33
⊙-1	21	30	33	3	80	80	320	0.6	0.3	100	0.9	0.36
⊙-2	21.5	100	35	5	120	120	480	0.5	0.3	100	0.9	0.34

Примечание: γ – удельный вес, c – удельное сцепление, φ – угол внутреннего трения, ψ – угол дилатансии, E_{50}^{ref} – секущая жесткость в стандартном дренированном трехосном испытании, E_{oed}^{ref} – касательная жесткость для первичной нагрузки на одометр, E_{ur}^{ref} – трехосная жесткость разгрузки/повторного нагружения, m – коэффициент для зависимости уровня напряжений от жесткости, ν_{ur} – коэффициент Пуассона для разгрузки – повторного нагружения, p^{ref} – эталонное напряжение для жесткости, R_f – коэффициент разрушения, K_0 – отношение напряжений горизонтального эффективного напряжения к вертикальному эффективному напряжению в нормально уплотненном состоянии

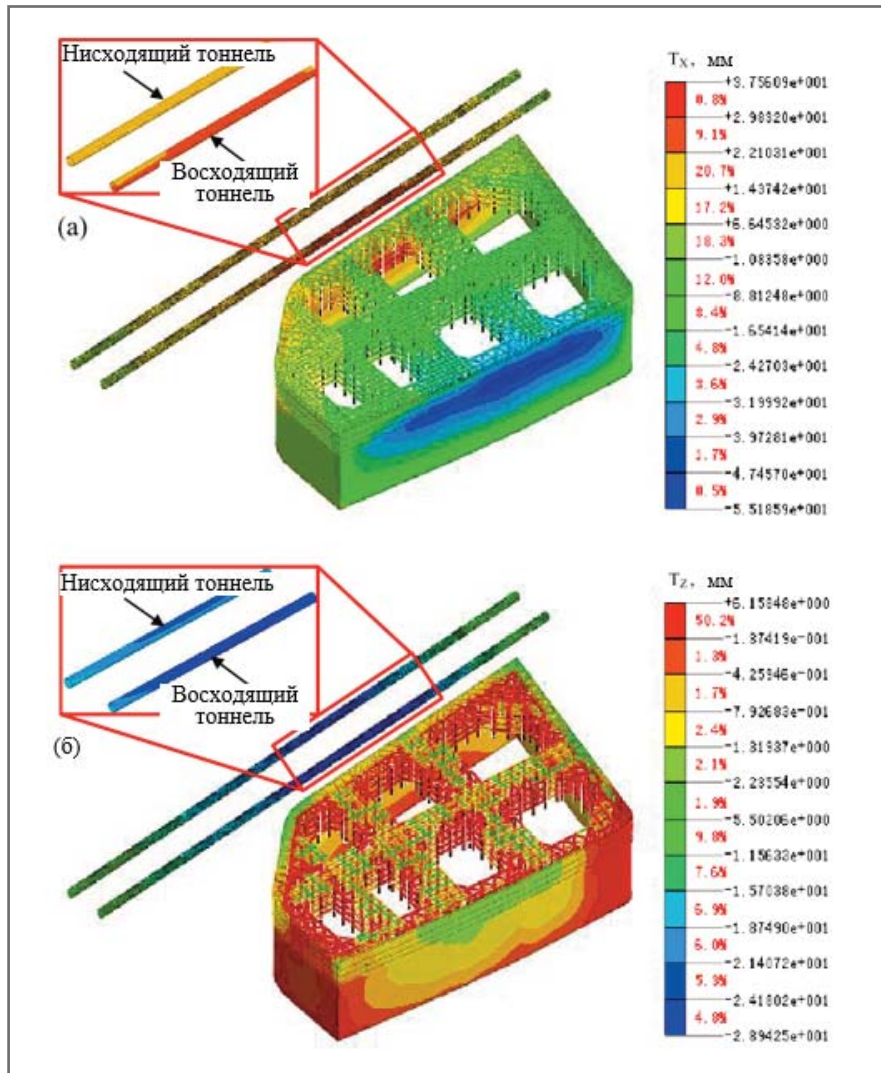


Рис. 6. Горизонтальные и вертикальные перемещения тоннелей и подпорных конструкций (а) Изополя горизонтальных перемещений (б) Изополя вертикальных перемещений

Таблица 3. Параметры линейно-упругой модели состояния для конструкций

Тип конструкции	γ (кН/м ³)	E (МПа)	ν
Железобетонная секция	25	$3,45 \times 10^4$	0,15
Стена в грунте, 1-я горизонтальная распорка	25	$3,15 \times 10^4$	0,18
2-я горизонтальная распорка			
3-я горизонтальная распорка	25	$3,25 \times 10^4$	0,18
4-я горизонтальная распорка			
Решетчатая колонна	78	$2,06 \times 10^5$	0,28

Примечание: γ – удельный вес, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона

ренные горизонтальные распорки. Этот цикл продолжался до тех пор, пока грунт не достигал проектной отметки дна кот-

лована. После первого и второго этапа полученные перемещения и деформации были обнулены, чтобы устранить влия-

ние силы тяжести и возведения подпорных сооружений, а учитывалось только влияние последующего осушения и земляных работ.

Поскольку основное внимание в этой статье уделяется долгосрочному полевому мониторингу тоннелей, подробные результаты каждого этапа моделирования здесь не описываются. Здесь приведены только результаты, когда выемка под фундамент производится до отметки уровня дна.

На рисунке 6 представлены изополя горизонтальных и вертикальных перемещений тоннелей и подпорных сооружений. Здесь направление перемещения следует системе координат на рисунке 5. Положительное значение для горизонтального перемещения T_x указывает, что тоннель перемещается по направлению к выемке грунта, а положительное значение для вертикального перемещения T_z указывает на вспучивание. Отрицательные значения указывают на противоположное. Это можно увидеть на рисунке 6(а): после выемки грунта до отметки дна стена в грунте перемещается на внутреннюю часть выемки из-за боковой разгрузки, что, в свою очередь, вызывает движение тоннелей. Поперечные перемещения восходящего тоннеля больше, чем у нисходящего тоннеля с максимальным перемещением 27,1 мм. Это можно увидеть на рис. 6(б): после осушения и выемки грунта тоннели имеют ярко выраженную осадку, но подпорные сооружения фундамента менее подвержены воздействию. Осадка нисходящего тоннеля больше, чем у восходящего тоннеля с максимальной осадкой 28,9 мм.

Из приведенных выше результатов численного моделирования можно заметить, что на верхний тоннель больше влияет строительство прилегающей выемки фундамента, чем на нижний тоннель, будь то горизонтальное или вертикальное смещение, чему инженерам следует уделить больше внимания. При рассмотрении деформации подпорных сооружений фундамента следует уделить больше внимания горизонтальному перемещению стены в грунте. Данные результаты можно использовать в качестве справочной информации для последующего составления программ полевого контроля.

Полевой мониторинг нарушений в конструкции тоннелей ►

Для того чтобы интерпретировать начальные показатели тоннеля до нача-

ла основных земляных работ под фундамент, в мае 2014 года была проведена фиксация нарушений в конструкции тоннеля. Отмечено, что в конструкции тоннеля появились такие неисправности как трещины, просачивания и повреждение секции, что показано на рисунке 7. Согласно статистике, трещины чаще всего появляются на линии пят и нижней части тоннеля. Повреждения секции чаще всего возникают на ее краю. Просачивание, как правило, обнаруживается в продольных и кольцевых соединениях, отверстиях для цементации и болтовых отверстиях. В восходящем тоннеле количество нарушений структуры выше, чем в нисходящем.

Также до начала основных земляных работ были измерены осадка и схождение диаметра тоннеля. По результатам измерения между двумя подземными станциями был сформирован продольный отсадочный бак длиной 600 м. Минимальный радиус кривизны кривой деформации тоннеля составил около 41 000 м, что соответствует требованиям контрольного значения 15 000 м, указанным в своде правил по охране тоннеля (GJJ/T 202-2013). Результаты измерения сходимости диаметра показали, что большая часть деформированной обделки тоннеля была горизонтально растянута и вертикально сжата, однако параметры не превысили предельных безопасных значений.

Полевой мониторинг грунтовых выемок

Как упоминалось ранее, крупномасштабные выемки под фундамент выполняются вблизи с существующими тоннелями, сооруженными щитовым способом. С целью выявления механизма воздействия выемки фундамента на тоннели был проведен комплексный полевой контроль земляных работ. Элементами мониторинга стали боковой прогиб стены в грунте, вспучивание основания, осевое усилие распорок и др. Согласно результатам приведенного выше численного моделирования, боковой прогиб стены в грунте напрямую зависит от деформации смежного тоннеля, поэтому в дальнейшем для расчета выбирается данный параметр. На рис. 8 показан план расположения наблюдаемых участков. Всего для контроля бокового прогиба в стене в грунте было использовано 37 инклинометров, в том числе 13 (QX19 ~ QX31), применяемых вдоль восходящего тоннеля. Инклинометр состоит из специально изготовлен-

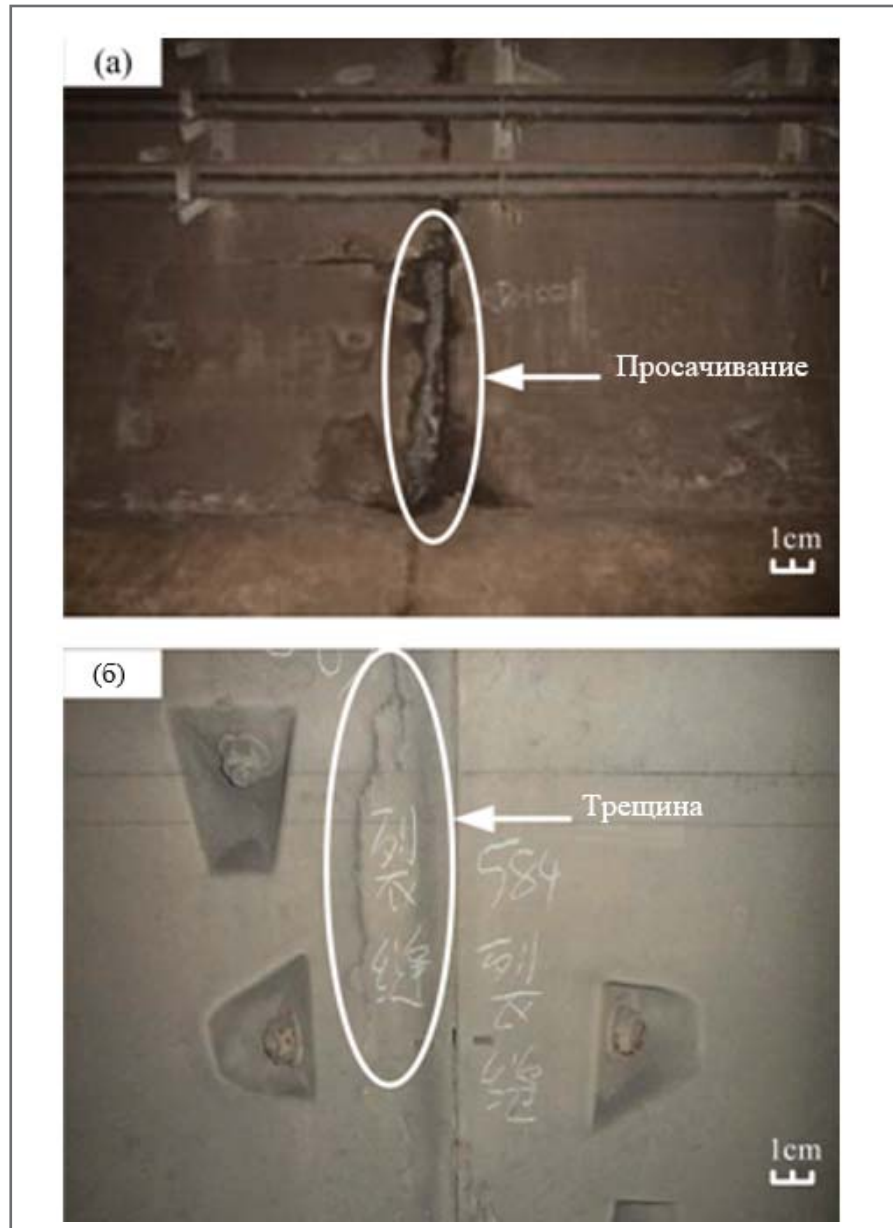


Рис. 7. Нарушения в конструкции тоннеля перед началом возведения фундамента (а) тоннельное просачивание (б) тоннельная трещина

ной вертикальной трубки с пересеченными скользящими канавками, которые направляют подвижный зонд.

Показатели фиксируются через каждые 500 мм, так как зонд поднимается от нижней к верхней части трубки.

Полевой мониторинг тоннелей метрополитена ►

Для получения информации о функционировании конструкций тоннелей в режиме реального времени и улучшения понимания деформаций тоннелей, вызванных выемкой под фундамент, был проведен долгосрочный полевой мониторинг. Мониторинг продлился более четырех лет (с октября 2011 года по январь 2016 г.) [31, 29]. Поскольку восходящий тоннель располагался бли-

же нисходящего к выемке и подвергся большому воздействию, были исследованы 29 наблюдаемых участков Y1 ~ Y29 и 19 участков Z1 ~ Z19 вдоль продольного направления в восходящем и нисходящем тоннелях соответственно, как показано на рисунке 8. К элементам мониторинга каждого участка относится осадка свода, боковое перемещение линии пят, схождение диаметра и ширина раскрытия секционного соединения. В работе Ге [12] представлена схема расположения приборов тоннеля 2-й линии метро Шанхая, сооруженного щитовым способом. Линия подверглась воздействию, вызванному близрасположенной выемкой грунта, в которой маркеры мониторинга осадки были закреплены на нижних опорных блоках, маркеры мониторинга поперечных переме-

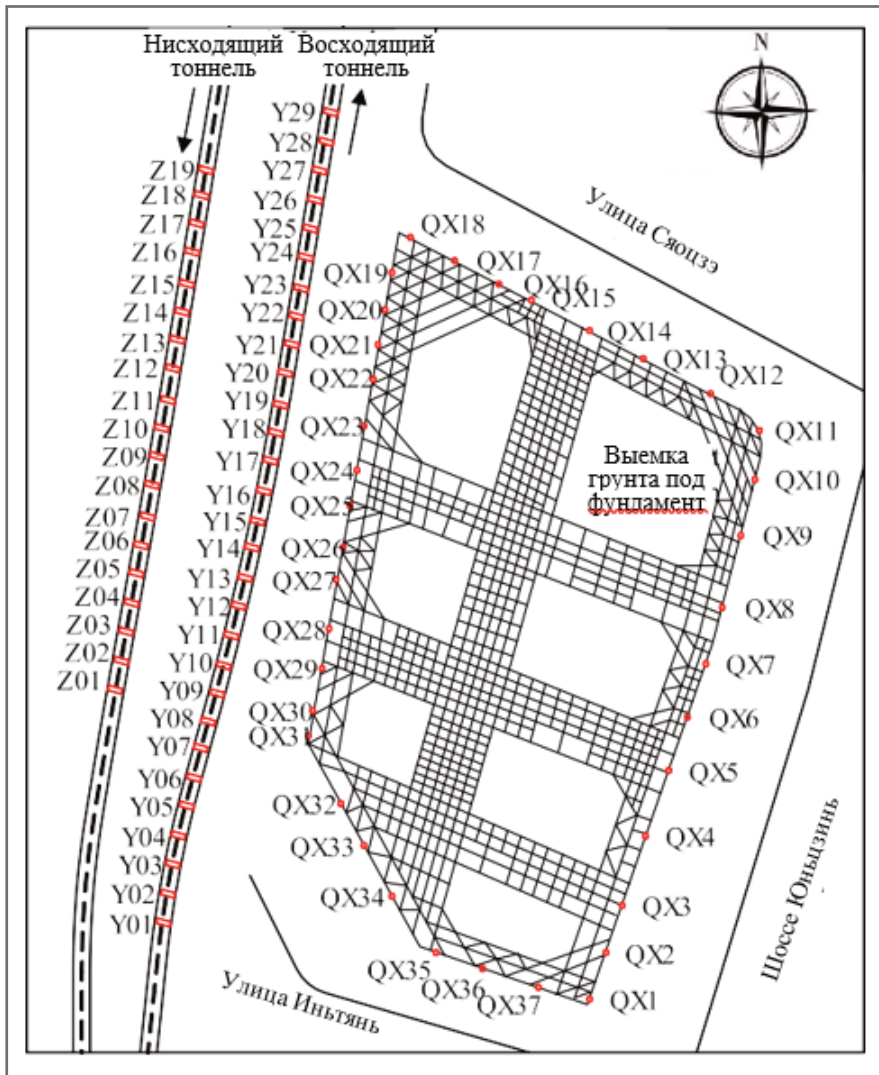


Рис. 8. План расположения наблюдаемых участков в выемке грунта под фундамент и тоннелях

щений были установлены близко к обратным сводам, а четыре маркера мониторинга сходимости были закреплены на опорном кольце по кольцевому на-

правлению. В данном исследовании учтены результаты предыдущего численного моделирования, согласно которым максимальная осадка и поперечные пе-

ремещения сечения тоннеля возникают на своде и линии пят соответственно. Таким образом, в данном исследовании учитываются особенности, отличающиеся от примеров из работы Ге [12]. Маркеры осадки были закреплены на своде, маркеры поперечных перемещений были закреплены на левой и правой линиях пят, а в процессе измерения сходимости диаметра были использованы маркеры мониторинга поперечных перемещений без дополнительных маркеров, как показано на рисунке 3. Расчет осадки свода осуществлялся с использованием электронного уровня Trimble с точностью 0,3 мм/км. Поперечные перемещения и сходимость диаметра вычислены с помощью высокоточного тахеометра Leica с угловой точностью 0,5 дюйма и линейной точностью 0,6 мм + 1 ppm (суб-миллиметр). Ширина раскрытия секционных соединений была отслежена штангенциркулем с точностью ± 0,002 мм. Как правило, погрешность измерений тоннеля, мониторинг которого рассматривается в этой статье, оказывалась в пределах 1 мм, из чего следует, что результаты мониторинга могут точно отражать деформацию тоннеля, вызванную близрасположенными выемками. **И**

Во второй части статьи вы узнаете о том, как был осуществлён комплексный полевой контроль для мониторинга глубоких выемок грунта и применена технология цементации микронарушений.


Дополнительные данные к этой статье размещены на сайте: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103147>.

Используемая литература ▶

1. Chang, C.T., Sun, C.W., Duann, S.W., Hwang, R.N., 2001a. Response of a Taipei Rapid Transit System (TRTS) tunnel to adjacent excavation. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 16 (3), 151–158.
2. Chang, C.T., Wang, M.J., Chang, C.T., Sun, C.W., 2001b. Repair of displaced shield tunnel of the Taipei rapid transit system. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 16 (3), 167–173.
3. Chen, R.P., Li, J., Kong, L.G., Tang, L.J., 2013. Experimental study on face instability of shield tunnel in sand. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 33, 12–21.
4. Chen, R.P., Meng, F.Y., Li, Z.C., Ye, Y.H., Ye, J.N., 2016. Investigation of response of metro tunnels due to adjacent large excavation and protective measures in soft soils. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 58, 224–235.
5. Department of Housing and Urban-Rural Development of Guangdong Province, 2017. DBJ/T 15-120-2017: Technical Code for Protection of Existing Structures of Urban rail Transit. China City Press, Beijing, China (in Chinese).
6. Di, H.G., Zhou, S.H., Xiao, J.H., Gong, Q.M., Luo, Z., 2016. Investigation of the long-term settlement of a cut-and-cover metro tunnel in a soft deposit. *Eng. Geol.* 204, 33–40.
7. Doležalová, M., 2001. Tunnel complex unloaded by a deep excavation. *Comput. Geotech.* 28 (6–7), 469–493.
8. Finno, R.J., Calvello, M., 2005. Supported excavations: observational method and inverse modeling. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 131 (7), 826–836.

9. Gao, G.Y., Gao, M., Yang, C.B., Yu, Z.S., 2010. Influence of deep excavation on deformation of operating metro tunnels and countermeasures. *Chin. J. Geot. Eng.* 32 (3), 453–459 (in Chinese).
10. Gao, Y., 2015. Application of micro disturbance correction technique for double liquid grouting in shield tunnel disease treatment of Nanjing Metro. *Urban Mass Transit.* 18 (6), 109–112 (in Chinese).
11. Ge, S.P., Yao, X.J., Ye, B., Pu, S.T., Liu, X.Z., 2016. Analysis of long-term settlement of soft clay under train vibration. *Chin. J. Rock Mech. Eng.* 35 (11), 2359–2368 (in Chinese).
12. Ge, X.W., 2002. Response of a Shield-driven Tunnel to Deep Excavations in Soft Clay. Ph.D thesis. Department of Civil Engineering, The University of HongKong Science and Technology.
13. Hou, X.L., Zhao, X.B., Li, X.Z., Li, J.Q., 2011. Research on engineering properties of floodplain soft soil in Hexi area. *China. Geol. Rev.* 57 (4), 600–608 (in Chinese).
14. Huang, X., Schweiger, H.F., Huang, H.W., 2013. Influence of deep excavations on nearby existing tunnels. *Int. J. Geomech.* 13 (2), 170–180.
15. Huang, X., Huang, H.W., Zhang, D.M., 2015. Centrifuge modelling of deep excavation over existing tunnels. *Proc. Inst. Civ. Eng. Geotech. Eng.* 167 (1), 3–18.
16. Li, H.J., Liu, S.Y., Tong, L.Y., 2019. Evaluation of lateral response of single piles to adjacent excavation using data from cone penetration tests. *Can. Geotech. J.* 56, 236–248.
17. Li, J.J., Wang, W.D., 2011. Design and construction of deep excavation engineering adjacent to the subway tunnel. *J. Railway Eng. Soc.* 28 (11), 104–111 (in Chinese).
18. Li, M.G., Chen, J.J., Wang, J.H., Zhu, Y.F., 2018. Comparative study of construction methods for deep excavations above shield tunnels. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 71, 329–339.
19. Liang, R.Z., Xia, T.D., Hong, Y., Yu, F., 2016. Effects of above-crossing tunnelling on the existing shield tunnels. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 58, 159–176.
20. Liang, R.Z., Xia, T.D., Huang, M.S., Lin, C.G., 2017. Simplified analytical method for evaluating the effects of adjacent excavation on shield tunnel considering the shearing effect. *Comput. Geotech.* 81, 167–187.
21. Liao, S.M., Liu, J.H., Wang, R.L., Li, Z.M., 2009. Shield tunneling and environment protection in Shanghai soft ground. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 24 (4), 454–465.
22. Li, P., Du, S.J., Ma, X.F., Yin, Z.Y., Shen, S.L., 2014. Centrifuge investigation into the effect of new shield tunnelling on an existing underlying large-diameter tunnel. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 42 (5), 59–66.
23. Liu, G.B., Jiang, R.J., Ng, C.W.W., Hong, Y., 2011. Deformation characteristics of a 38 m deep excavation in soft clay. *Can. Geotech. J.* 48 (12), 1817–1828.
24. Liu, J.H., Wang, R.L., Wang, X.B., 2013. Shanghai rail transit tunnel maintenance system and countermeasures to technical difficulties of settlement treatment. *Undergr. Eng. Tunn.* 1, 1–6 (in Chinese).
25. MOHURD (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China), 2013. GB 50911–2013: Code for Monitoring Measurement of Urban Rail Transit Engineering. China Architecture & Building Press, Beijing, China (in Chinese).
26. MOHURD (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China), 2014. CJJ/T 202–2013: Technical Code for Protection Structures of Urban Rail Transit. China Architecture & Building Press, Beijing, China (in Chinese).
27. Ng, C.W.W., Shi, J.W., Hong, Y., 2013a. Three-dimensional centrifuge modelling of basement excavation effects. *Can. Geotech. J.* 50 (8), 874–888.
28. Ng, C.W.W., Boonyarak, T., Mašín, D., 2013b. Three-dimensional centrifuge and numerical modeling of the interaction between perpendicularly crossing tunnels. *Can. Geotech. J.* 50 (9), 935–946.
29. Ren, Y., Xu, X., Huang, Q., Zhao, D.Y., Yang, J., 2019. Long-term condition evaluation for stay cable systems using dead load-induced cable forces. *Adv. Struct. Eng.* 22 (7), 1644–1656.
30. Schanz, T., Vermeer, P.A., Bonnier, P.G., 1999. The hardening soil model: formulation and verification. In: Ronald B.J. Brinkgreve. (Eds.), *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Balkema, Rotterdam, pp. 281–296.
31. Shen, S.L., Wu, H.N., Cui, Y.J., Yin, Z.Y., 2014. Long-term settlement behaviour of metro tunnels in the soft deposits of Shanghai. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 40, 309–323. Shi, C.H., Cao, C.Y., Lei, M.F., Peng, L.M., Ai, H.J., 2016a. Effects of lateral unloading on the mechanical and deformation performance of shield tunnel segment joints. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 51, 175–188.
32. Shi, J.W., Liu, G.B., Huang, P., Ng, C.W.W., 2015a. Interaction between a large-scale triangular excavation and adjacent structures in Shanghai soft clay. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 50, 282–295.
33. Shi, J.W., Ng, C.W.W., Chen, Y.H., 2015b. Three-dimensional numerical parametric study of the influence of basement excavation on existing tunnel. *Comput. Geotech.* 63, 146–158.
34. Shi, J.W., Wang, Y., Ng, C.W.W., 2016b. Three-dimensional centrifuge modeling of ground and pipeline response to tunnel excavation. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 142 (11), 04016054.
35. Shi, J.W., Ng, C.W.W., Chen, Y.H., 2017. A simplified method to estimate three-dimensional tunnel responses to basement excavation. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 62, 53–63.

36. Shi, J.W., Zhang, X., Chen, Y.H., Chen, L., 2018. Numerical parametric study of countermeasures to alleviate basement excavation effects on an existing tunnel. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 72, 145–153.
37. Shi, J.W., Fu, Z.Z., Guo, W.L., 2019. Investigation of geometric effects on three-dimensional tunnel deformation mechanisms due to basement excavation. *Comput. Geotech.* 106, 108–116.
38. Sun, H.S., Chen, Y.D., Zhang, J.H., Kuang, T.S., 2019. Analytical investigation of tunnel deformation caused by circular foundation pit excavation. *Comput. Geotech.* 106, 193–198.
39. Tan, Y., Li, X., Kang, Z.J., Liu, J.X., Zhu, Y.B., 2015. Zoned excavation of an oversized pit close to an existing metro line in stiff clay: case study. *J. Perform. Constr. Facil.* 29 (6), 04014158.
40. Wang, X.B., Wang, R.L., Liu, J.H., 2012. Disposal method of unequal settlement of metro tunnel in operation in Shanghai soft ground. *J. Shanghai Jiaotong Univ.* 46 (1), 26–31 (in Chinese).
41. Xu, Z.H., Wang, W.D., 2010. Selection of soil constitutive models for numerical analysis of deep excavations in close proximity to sensitive properties. *Rock Soil Mech.* 31 (1), 258–264 (in Chinese).
42. Yang, B.M., Liu, B.G., 2016. Analysis of long-term settlement of shield tunnel in soft soil area under cyclic loading of subway train. *China Railway Sci.* 37 (3), 61–67 (in Chinese).
43. Yao, C.H., 2008. Nanjing Metro Line 2 for Structural Safety Monitoring Technology Research Program. *Modern Survey. Mapping* 32 (1), 10–12 (in Chinese).
44. Yuan, J., Liu, X.W., Chen, W.L., 2012. Effect of construction of deep excavation in Hangzhou silty sand on adjacent metro tunnels and stations. *Chin. J. Geot. Eng.* 34 (S1), 398–403 (in Chinese).
45. Zhang, J.F., Chen, J.J., Wang, J.H., Zhu, Y.F., 2013a. Prediction of tunnel displacement induced by adjacent excavation in soft soil. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 36 (2), 24–33.
46. Zhang, D.M., Huang, Z.K., Wang, R.L., Yan, J.Y., Zhang, J., 2018. Grouting-based treatment of tunnel settlement: Practice in Shanghai. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 80, 181–196.
47. Zhang, X.M., Ou, X.F., Yang, J.S., Fu, J.Y., 2017. Deformation response of an existing tunnel to upper excavation of foundation pit and associated dewatering. *Int. J. Geomech.* 17 (4) 04016112 -1-14.
48. Zhang, Z.G., Huang, M.S., Wang, W.D., 2013b. Evaluation of deformation response for adjacent tunnels due to soil unloading in excavation engineering. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 38 (3), 244–253.
49. Zhang, Z.G., Zhang, M.X., 2013. Mechanical effects of tunneling on adjacent pipelines based on galerkin solution and layered transfer matrix solution. *Soils Found.* 53 (4), 557–568.
50. Zhang, Z.G., Huang, M.S., 2014. Geotechnical influence on existing subway tunnels induced by multiline tunneling in Shanghai soft soil. *Comput. Geotech.* 56 (3), 121–132.
51. Zhang, Z.G., Zhang, M.X., Zhao, Q.H., 2015. A simplified analysis for deformation behavior of buried pipelines considering disturbance effects of underground excavation in soft clays. *Arabian J. Geosci.* 8 (10), 7771–7785.
52. Zheng, G., Du, Y.M., Diao, Y., Deng, X., Zhu, G.P., Zhang, L.M., 2016. Influenced zones for deformation of existing tunnels adjacent to excavations. *Chin. J. Geot. Eng.* 38 (4), 599–612 (in Chinese).
53. Zheng, G., Wei, S.W., 2008. Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels. *J. Cent. South Univ.* 15 (2), 69–75.



Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал

ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ»

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

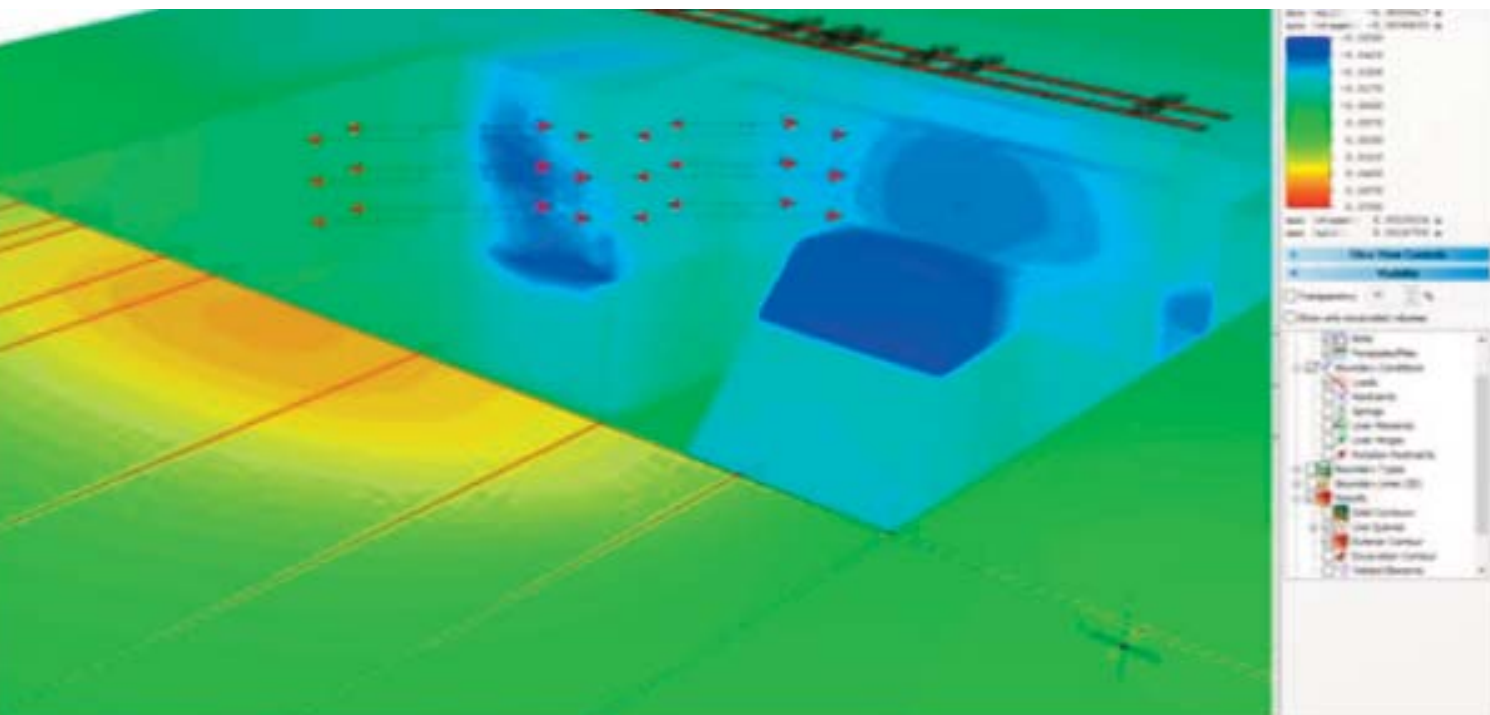
Лаборатория оснащена отечественным и зарубежным оборудованием последнего поколения по всем направлениям деятельности лаборатории: испытания дисперсных, скальных, мерзлых грунтов и геокомпозитов.

На постоянной основе работают курсы повышения квалификации для экспертов в области геотехники.

Организован постоянный доступ супервайзеров и общедоступная онлайн трансляция работы лаборатории на портале Геоинфо и сайте лаборатории.



MDGT.RU



ТРЕХМЕРНЫЙ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛУБОКОГО КОТЛОВАНА И ОЦЕНКА РЕАКЦИИ ГРУНТА

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
«ГЕОИНФО»
info@geoinfo.ru

ООО «СОВРЕМЕННЫЕ
ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»
(ADVANCED SURVEY
TECHNOLOGIES) – ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПРЕДСТАВИТЕЛЬ КОМПАНИИ
ROSCIENCE В РОССИИ
info@geoast.pro

Компания Rocscience, основанная в 1996 году на базе Университета Торонто в Канаде, является одним из мировых лидеров по разработке, усовершенствованию и распространению 2D и 3D программного обеспечения для инженеров-строителей, горных инженеров, инженеров-геологов и геотехников. На сайте этой компании недавно появилась заметка «Трехмерный конечноэлементный анализ строительства глубокого котлована и оценка реакции грунта» [1], которая является кратким обзором доклада «Конечноэлементный анализ глубокого котлована и пример реакции грунта на его создание в сиднейском песчанике» [2], сделанного П. Хьюиттом и М. Китсоном (ведущими сотрудниками австралийского представительства канадской инженерно-консалтинговой компании WSP) на Международной конференции Rocscience в 2021 году.

Предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод вышеуказанной заметки [1] с привлечением дополнительных материалов [2-4].

Консультационную помощь редакции оказали сотрудники ООО «Современные Изыскательские Технологии» – официального представителя компании Rocscience в России.

Введение ▶

Значительные смещения грунта из-за создания глубоких котлованов могут серьезно повлиять на расположенные поблизости инфраструктурные объекты и инженерные коммуникации. Для оценки последствий этого влияния и для планирования фундаментальных мер по их минимизации чрезвычайно важно учитывать смещения грунта и конструкций.

Рассмотрим случай из практики [1, 2], который демонстрирует возможности трехмерного конечноэлементного анализа в программе RS3, разработанной канадской компанией Rocscience. Эта программа использовалась в качестве основного инструмента для обработки результатов наблюдений и проектирования во время работы над про-

ектом котлована на морском побережье к северу от Сиднея (Австралия). На начальных этапах использовалась также программа RS2 от той же компании. (RS2 и RS3 – это универсальные программы соответственно для 2D и 3D анализа напряжений методом конечных элементов, которые могут использоваться при подземных горных работах, для проектирования тоннелей, карьеров, котлованов, систем их крепления, фундаментов, для оценки устойчивости оползневых склонов и пр. [3, 4].)

О проекте ▶

Речь идет о проекте строительства комплекса зданий на улице Кристи (д. 88) в городе Сент-Леонард, являющемся пригородом Сиднея (рис. 1). Этот

комплекс состоит из двух жилых высотных зданий с максимальной высотой 47 этажей и одного коммерческого здания с 15-ю надземными и 10-ю подземными этажами до глубины 43 м (для обширных торговых площадей). Подземная часть площадью в плане 8 тыс. кв. м расположена рядом с основной инфраструктурой автомобильной и железной дорог, простираясь почти до границы с пригородной пассажирской железнодорожной сетью Сиднея (Sydney Trains) (рис. 2).

О прилегающей инфраструктуре ▶

Площадка строительства была окружена подземными коммуникациями, автодорожной и железнодорожной инфраструктурой, а также зданиями. Ра-

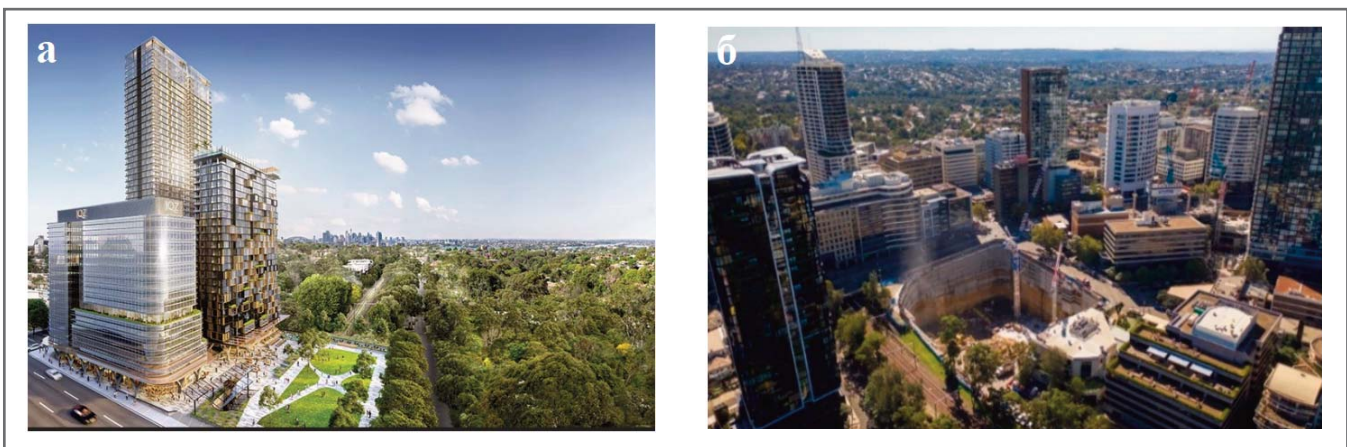


Рис. 1. Визуализация проектируемого комплекса зданий (а) и вид строительной площадки и окружающей застройки (б)



Рис. 2. Вид сверху на территорию строительства с указанием прилегающей транспортной инфраструктуры (а) и на строящийся котлован (б)

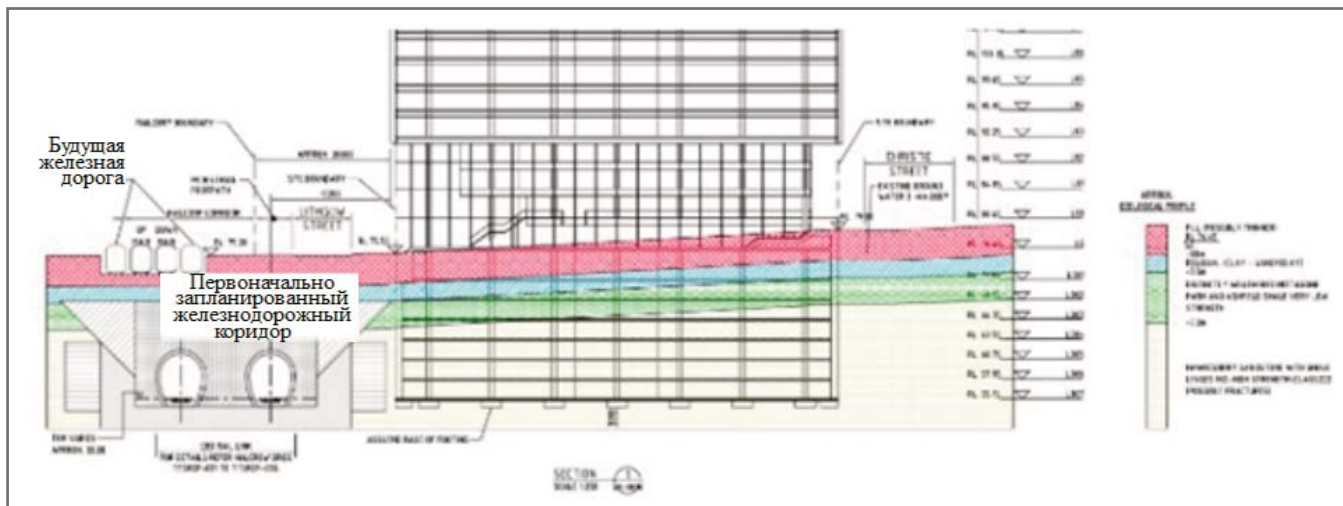


Рис. 3. Схематичный поперечный разрез нижней части проектируемого комплекса зданий с первоначально предлагавшейся железнодорожной линией в 14 м от западного края пятна застройки



Рис. 4. Система крепления котлована вдоль границы с железной дорогой (с запада)

нее запланированный проект железной дороги, идущей к деловому центру Сиднея, включал в себя два тоннеля в 14 м от западного края пятна застройки (рис. 3), но от этого проекта отказались и для железнодорожного сообщения был выбран другой маршрут (проект Sydney Metro City & Southwest сейчас находится на стадии строительства).

Подповерхностные условия и проект котлована ▶

Подповерхностные условия оценивались по результатам бурения 52 скважин, исследований образцов керна, определения показателей прочности пород и дефектов грунтового массива (трещин, в том числе трещин напластования).

Имевшиеся ограничения для строительства включали следующее:

- нельзя было использовать анкерные системы в месте прохождения железной дороги и вплотную к ней;
- строительство и эксплуатация комплекса зданий не должны были повлиять на устойчивость железнодорожной инфраструктуры;
- смещения в пределах Тихоокеанской автомагистрали не должны были превышать 30 мм;
- требовался мониторинг смещений грунта и конструкций дорог из-за строительства котлована.

Были установлены следующие основные конструкции для крепления котлована (например, рис. 4):

- сплошная стенка из бетонных свай вместе с закрепленной анкерами стенкой из торкрет-бетона;
- грунтовые анкеры в пределах 20-метрового квадратного в плане выступа скальных пород в южном углу котлована;

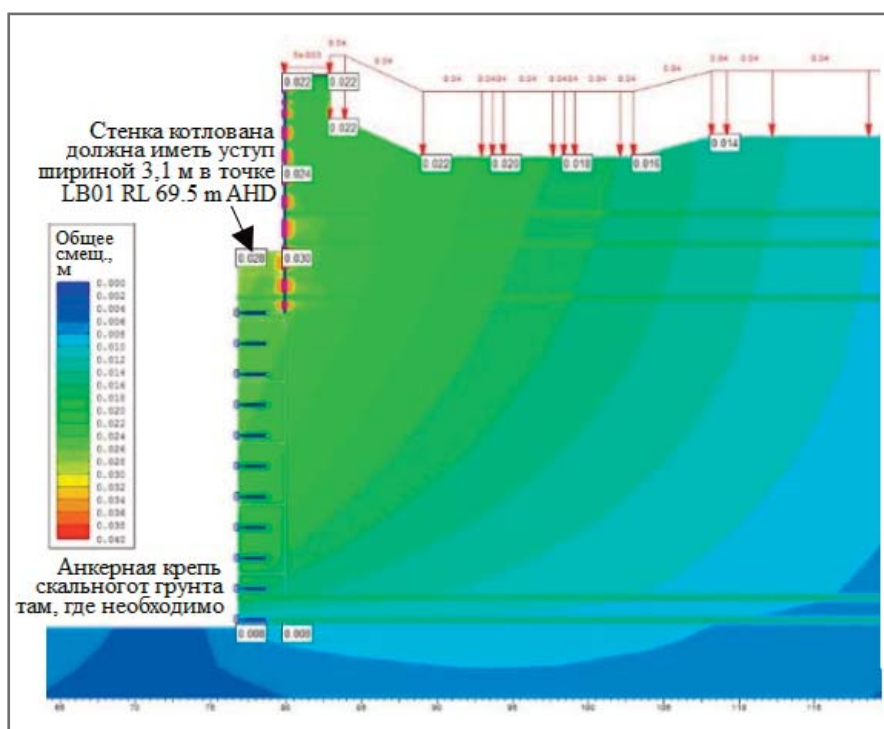


Рис. 5. Общие смещения грунта на разрезе в направлении В-3, спрогнозированные с помощью двумерной оценки в программе RS2

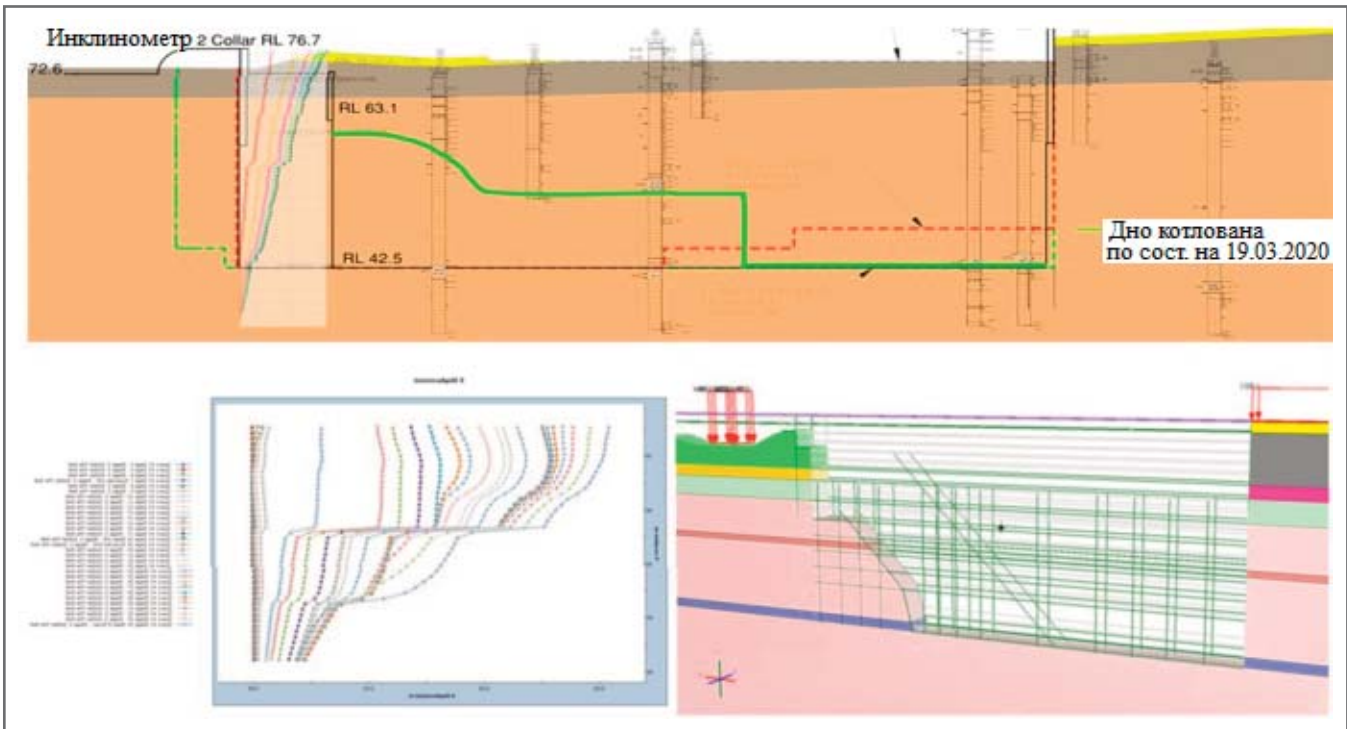


Рис. 6. Ход выемки грунта на разрезе с запада на восток (сверху) и трехмерная модель части котлована и окружающего грунта вдоль этого разреза в программе RS3 (внизу справа), откалиброванная с помощью результатов измерений инклинометром с 14 ноября 2019 г. по 19 марта 2020 г. (внизу слева)

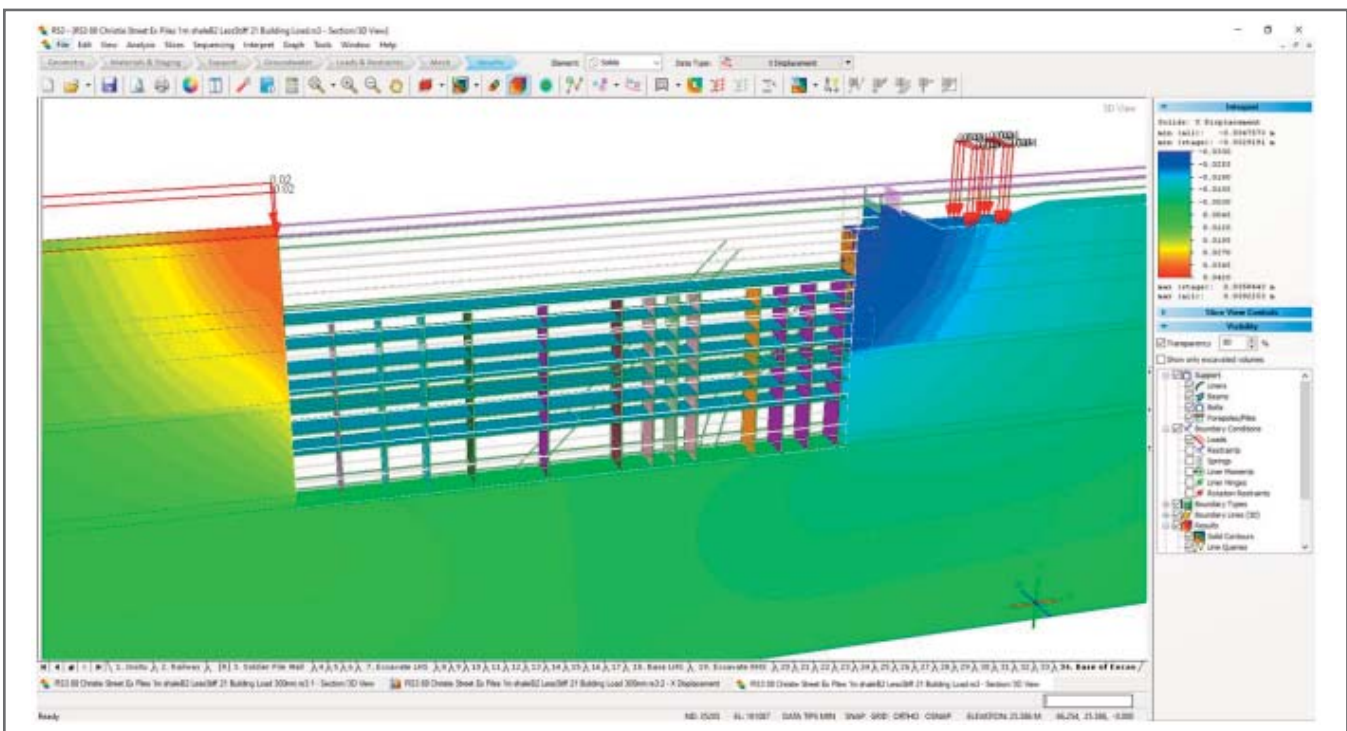


Рис. 7. Трехмерная модель части котлована с перекрытиями и стенами подземных этажей вдоль поперечного среза в программе RS3 с отражением прогнозируемых смещений окружающего грунта и соседней железной дороги

- грунтовые анкеры через 20 м в северном углу возле автодорожной эстакады над железной дорогой.

Оценка воздействий на окружающие объекты ►

При оценке воздействий на окружающие объекты анализировались по-

следствия создания котлована и нагрузок от здания, а также поле естественных напряжений, зависящее от качества грунтового массива.

Первоначальная численная оценка реакций грунта и установленной системы крепления котлована была выполнена с использованием двумерного конечноэле-

ментного анализа в программе Rocscience RS2 (рис. 5) и анализа методом конечных разностей в программе FLAC 3D, разработанной американской компанией Itasca Consulting Group. Однако для более детальной и реалистичной оценки того, как строительство повлияло на существующую инфраструктуру, было прове-

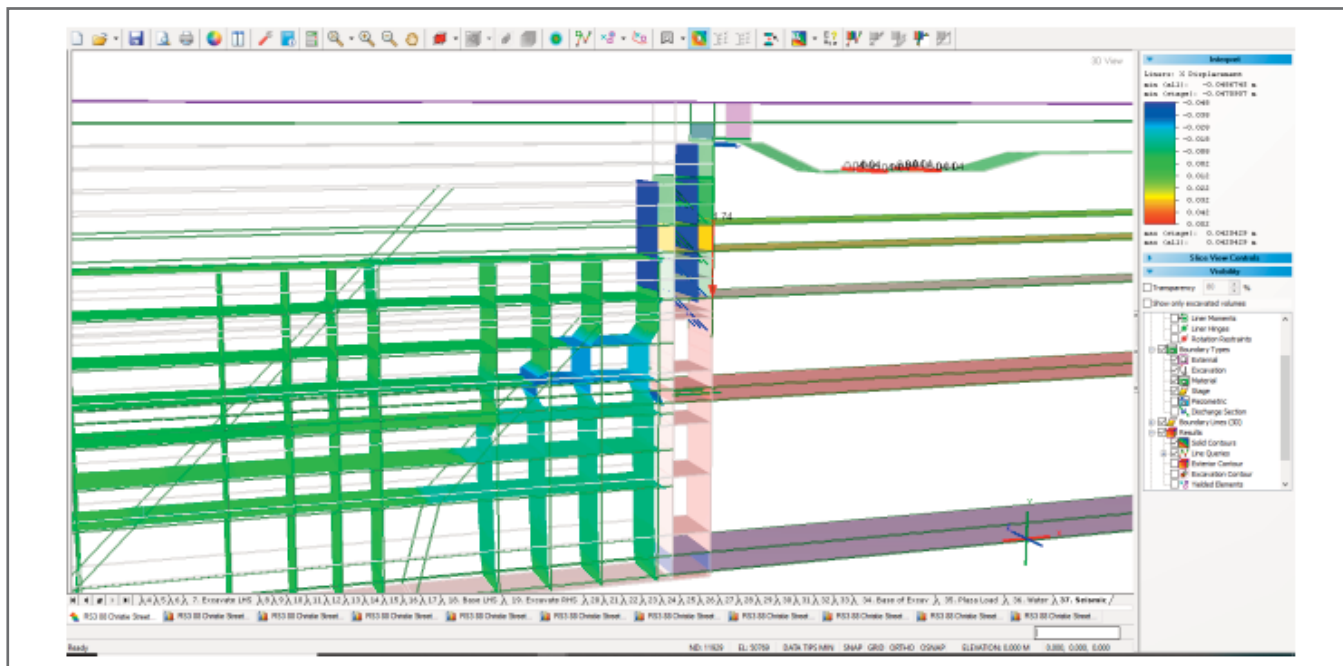


Рис. 8. Трехмерная модель части котлована с перекрытиями и стенами подземных этажей вдоль поперечного среза в программе RS3 с представлением откалиброванных прослоев глинистого сланца и прогнозируемых смещений конструкций

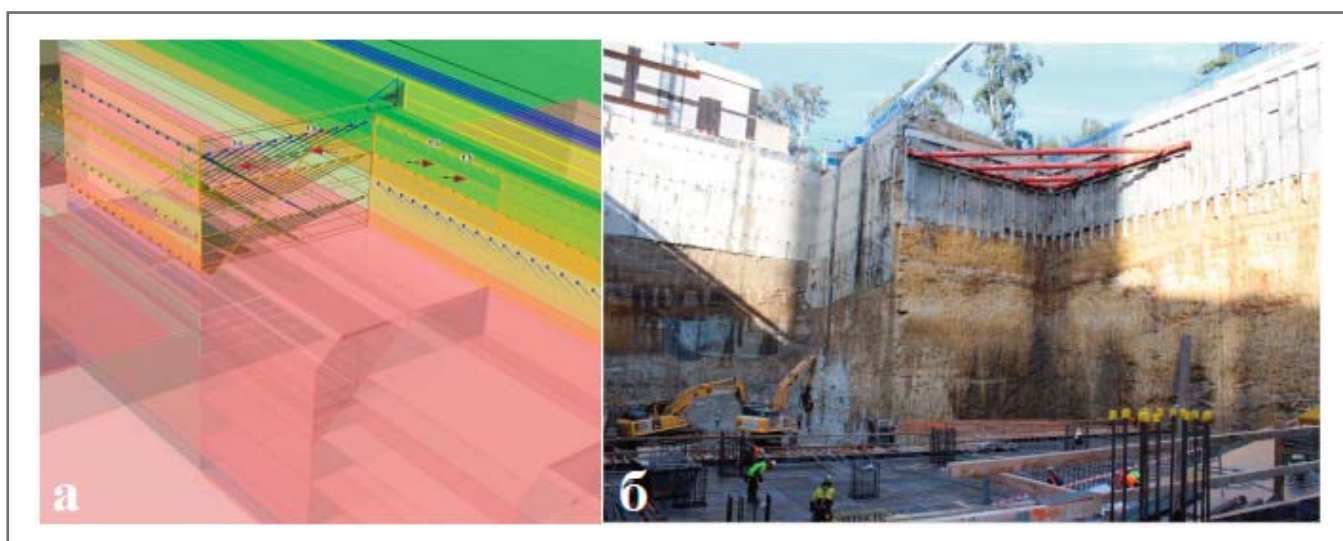


Рис. 9. Модель котлована в программе RS3 (а) и его фотография (б) с системой крепления из свай и анкеров и с угловой системой распорок

дено трехмерное численное моделирование на основе метода конечных элементов в программе Rocscience RS3.

Для контроля деформаций поверхности земли из-за бокового давления котлован грунта была спроектирована система крепления котлована анкерными сваями и анкерами, которая была откалибрована с использованием результатов мониторинга различных глубоких котлованов в Сиднее и окрестностях.

Анализ строительства котлована в программе RS3 ▶

Исследование западной стороны котлована вблизи железной дороги показало,

что на глубине около 40 м между слоями песчаника могут присутствовать прослои более слабых глинистых сланцев. Поэтому для контроля смещений грунта из-за прогиба подпорной стенки котлована там был временно установлен анкер высокой жесткости. Пока шла выемка грунта, автоматический инклинометр зафиксировал более выраженные горизонтальные скользящие движения песчаника по этим двум прослоям сланцев, которые превысили прогнозные (рис. 6). Эти смещения вызывались снятием природных напряжений в песчанике со стороны котлована во время выемки грунта.

Первоначально программа RS3 использовалась для калибровки трехмер-

ной модели котлована и окружающего грунта (см. рис. 6 внизу справа) в соответствии со смещениями, измеренными инклинометром. Затем прослои сланцев были смоделированы как части системы трещин в сочетании с использованием параметров Мора – Кулона. После калибровки модели были протестированы разные варианты хода строительства котлована, системы его крепления и конструкций подземных этажей для выяснения того, как уменьшить смещения грунта, обеспечить дополнительную поддержку подпорной стенки и гарантировать отсутствие недопустимого воздействия этих смещений на железную дорогу [1] (например, рис. 7–

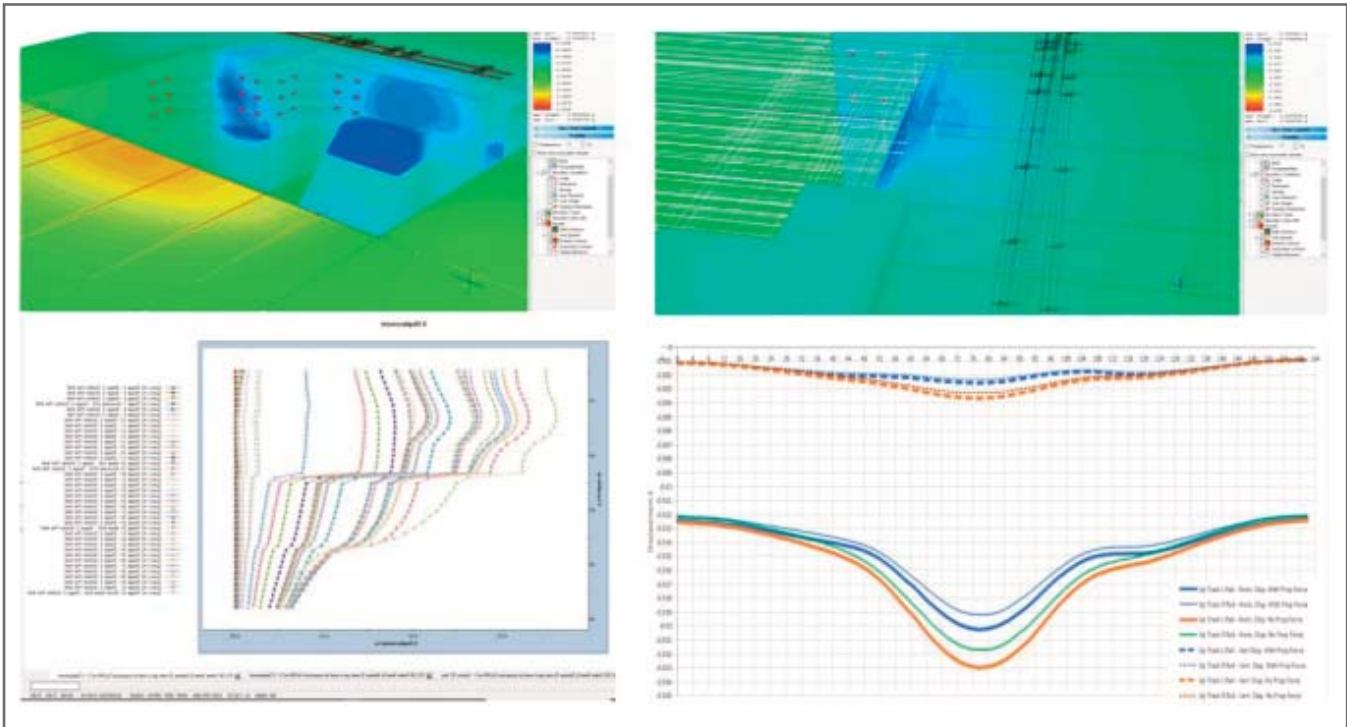


Рис. 10. Модель котлована в программе RS3 с прогнозируемыми воздействиями на железнодорожную линию в случае оставления выступа скальных грунтов у подпорной стенки, идущей вдоль железной дороги (этот выступ должен быть вынут последним), а также при добавлении угловой системы распорок и дополнительных анкерных креплений

10). Был выбран вариант, который включил (см. рис. 9, 10):

- выемку выступа скального грунта у южной подпорной стенки котлована в последнюю очередь;
- установку у этого выступа угловой системы гидравлических распорок с приложенным к стенке усилием 2,5 МН;
- увеличение длины южных анкеров в районе указанного выступа (так, чтобы они уходили на достаточную глубину ниже прослая сланцев);
- установку дополнительных анкеров в противоположном углу, чтобы уравновесить силу действия системы угловых распорок [2].

Результаты мониторинга ►

Во время строительства поведение подпорных стен котлована контролировалось с помощью приборов и регулярных визуальных наблюдений. Максимальное измеренное горизонтальное смещение составило 28 мм (в средней точке западной стенки), что соответствует результатам, полученным в RS3 (рис. 11).

Заключение ►

Результаты работы над рассмотренным проектом подчеркнули преимущества анализа методом конечных элементов в программе RS3 для оценки воздействий строительства глубокого котлована и подземной части комплекса зданий на окружающие грунты и инженерные объекты в

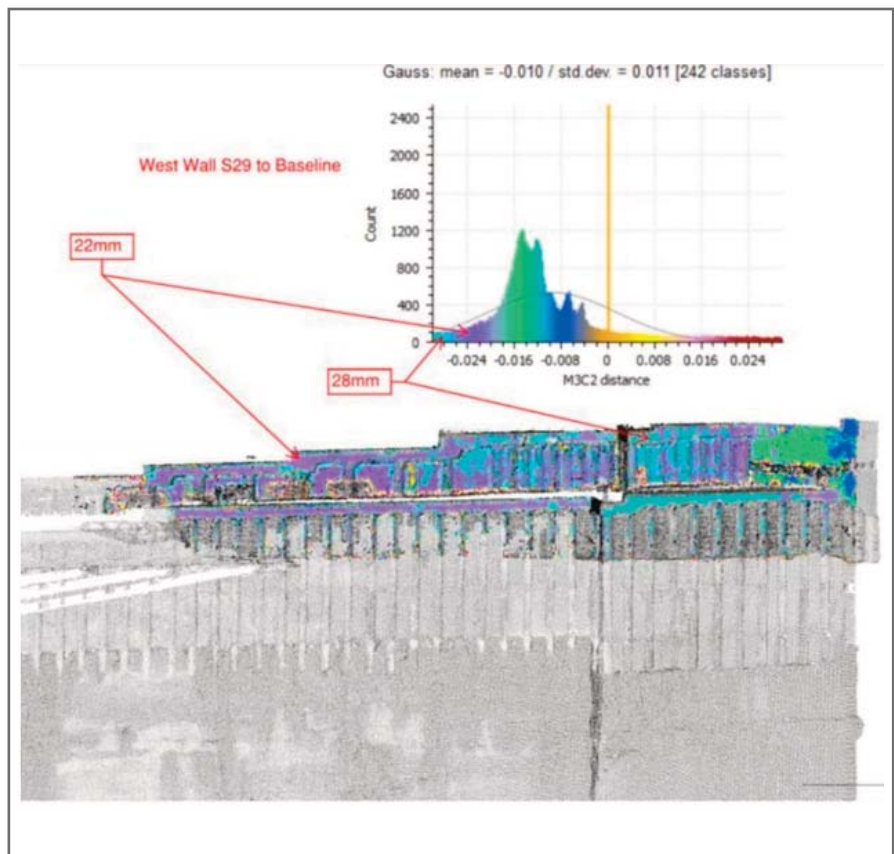


Рис. 11. Результаты лазерного сканирования западной подпорной стенки, которое показало среднее смещение 10 мм и максимальное смещение 28 мм

целях получения точных прогнозов и преодоления геотехнических проблем.

Для получения более подробной информации об этом проекте и ходе ко-

нечноэлементного анализа для него можно узнать, прочитав полную статью [2], по которой был составлен переведенный краткий обзор [1]. И

Источники ►

1. 3D finite element analysis of a deep excavation and ground response evaluation // Rocscience. May 27, 2022 URL: <https://www.rocscience.com/learning/3d-finite-element-analysis-of-a-deep-excavation-ground-response-evaluation>.
2. Hewitt P., Kitson M. Finite element analysis of a deep excavation: a case study ground response due to deep excavations in Sydney sandstone // Proceedings of the Rocscience International Conference “The Evolution of Geotech – 25 Years of Innovation”, April 20–21, 2021. Taylor and Francis Group, 2021. URL: <https://static.rocscience.cloud/assets/resources/learning/papers/RICAB52-Maxwell-Kitson-May-Paper.pdf>.
3. <https://www.geoast.pro/rs2>.
4. <https://www.geoast.pro/rs3>.

Реклама в журнале



Независимый электронный журнал «ГеоИнфо» на сегодняшний день является ведущим отраслевым средством массовой информации в сфере инженерных изысканий, геотехнического проектирования и инженерной защиты территории. Ежемесячная аудитория журнала превышает 15 000 уникальных посетителей.

Благодаря тому, что все статьи размещаются в группах журнала в социальных сетях и затем транслируются в другие профильные группы, каждый опубликованный материал находит читателей именно внутри своей целевой аудитории.

Многие статьи в адаптированном варианте дублируются на нашем канале в Яндекс.Дзен, у которого уже более 3000 подписчиков и аудитория которого превышает 100 тысяч человек.

Прайс-лист на размещение рекламы в 2022 году (без НДС)

- Рекламная статья в журнале – 25 000 рублей.
- В каждую статью могут быть добавлены любые дополнительные материалы: каталоги оборудования, прайсы, фотографии, видеоролики, демоверсии программ и пр.
- Логотип в разделе «Спонсоры проекта» в правой колонке – 25 000 рублей в месяц.

Все наши спонсоры получают свою персональную страницу на сайте журнала, где размещается информация о компании-спонсоре, все статьи ее сотрудников, опубликованные в журнале «ГеоИнфо» или в Базе знаний, а также любые дополнительные материалы (каталоги, буклеты, видео).

Коллеги и друзья! Наше с Вами рекламное сотрудничество будет взаимовыгодным. Вы получите отличную площадку для лоббирования своих интересов, а мы – возможность и дальше развивать проект, бороться за интересы отрасли инженерных изысканий и помогать профессионалам.

Тел.: +7 (499) 340-340-9, (916) 240-03-22
E-mail: info@geoinfo.ru

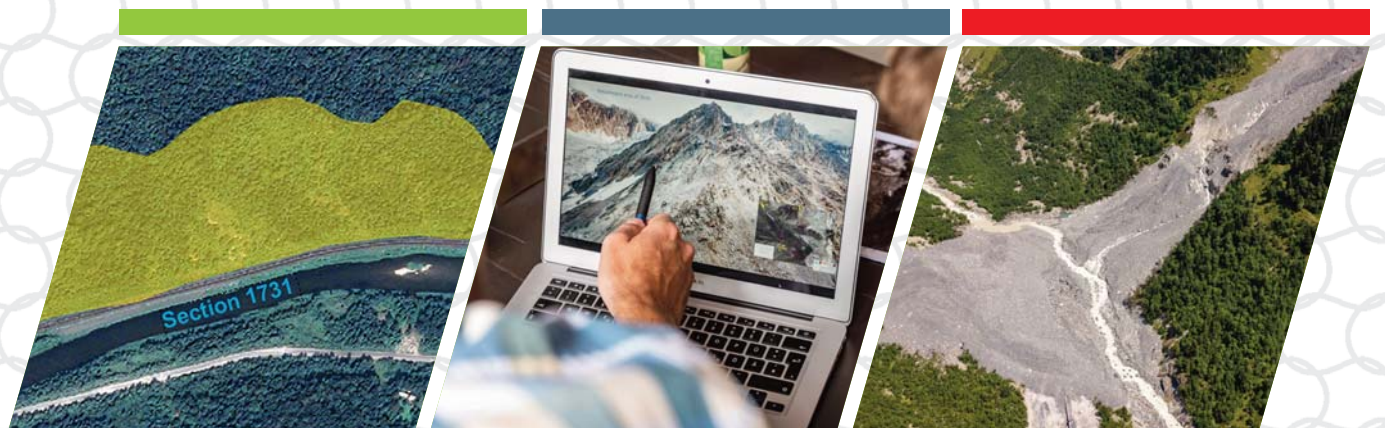


Mountain
Risk
Consultancy

ЗАЩИТА ОТ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФ



- РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ
- КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ
- ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
- РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И МОНИТОРИНГ



Skype: Mountain Risk Consultancy
E-Mail: office@mountain-risk.ru
<https://www.mountain-risk.ru>





Заглавное фото: Pixabay.com

О НОВОМ МЕТОДЕ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ БЕЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММ

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА
«ГЕОИНФО»**

info@geoinfo.ru

**БОЛДЫРЕВ ГЕННАДИЙ
ГРИГОРЬЕВИЧ**

Директор по научной работе и
инновациям ООО НПП «Геотек»,
г. Пенза, Россия
g-boldyrev@geotek.ru

**ООО НПП «ГЕОТЕК» |
ПРОИЗВОДСТВО
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРИБОРОВ И КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ
ИСПЫТАНИЙ ДИСПЕРСНЫХ И
СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Генеральный спонсор «ГеоИнфо»
info@npp-geotek.ru

Представляем вниманию читателей обзор материалов основной части статьи «Анализ надежности откосов и склонов с учетом пространственно изменчивых параметров прочности на сдвиг с использованием неинтрузивного стохастического метода конечных элементов» [1], написанной сотрудниками Уханьского университета и Гонконгского университета науки и техники Шуй-Хуа Цзяном, Ли Дяньцином, Ли-Мин Чжаном и Хуан-Бин Чжоу и опубликованной в 2014 году в журнале *Engineering Geology* («Инженерная геология»).

Рассмотрен предложенный китайскими авторами метод, указанный в названии выбранной для обзора статьи [1]. Двумерная пространственная изменчивость параметров прочности на сдвиг моделируется взаимно коррелированными негауссовскими случайными полями, которые дискретизируются с помощью разложения Карунена – Лоэва. Представлена процедура выполнения анализа надежности откоса или склона с помощью стохастического метода конечных элементов, который не требует от пользователей изменений в компьютерных программах, предназначенных для детерминированного конечноэлементного анализа, и доступа к их исходным кодам. Этот метод может дать удовлетворительные результаты в том числе при больших значениях коэффициента устойчивости (что соответствует большинству практических случаев). С его помощью можно гораздо более эффективно

оценить надежность откоса или склона с учетом пространственно изменчивых параметров прочности на сдвиг, чем с применением метода выборки значений из латинского гиперкуба. Если коэффициент вариации показателей прочности на сдвиг превышает критическое значение или если коэффициент запаса устойчивости FS относительно невелик, то игнорирование пространственной изменчивости параметров сдвиговой прочности приведет к оценкам вероятности разрушения откоса или склона, не обеспечивающим запаса устойчивости. При этом критические значения коэффициента вариации параметров прочности на сдвиг увеличиваются с ростом коэффициента FS.

ВВЕДЕНИЕ ►

Как указывают Цзян с соавторами [1], в последние годы пространственная изменчивость свойств грунтов привлекает широкое внимание при анализе устойчивости откосов и склонов. Но в большинстве исследований, выполненных до публикации статьи [1], проводился детерминированный анализ устойчивости откосов или склонов с использованием традиционного метода предельного равновесия (МПР). Затем для анализа надежности откоса или склона с учетом пространственно изменчивых свойств грунта МПР комбинировался с теорией случайных полей. После этого для оценки вероятности разрушения использовалось моделирование методом Монте-Карло.

Однако, как отмечают Цзян и др. [1], потенциальная проблема использования метода предельного равновесия заключается в том, что должны быть приняты некоторые допущения, касающиеся формы поверхности скольжения или механизма потери устойчивости. Кроме того, в этом случае не учитывается напряженно-деформированное поведение грунта, а также невозможен реалистичный учет пространственной изменчивости его свойств, если форма поверхности скольжения в разрезе не является круглой. Но метод конечных элементов (МКЭ) позволяет преодолеть отмеченные недостатки МПР.

Что касается оценки надежности откосов и склонов, то хотя моделирование методом Монте-Карло и подходит для оценки вероятности разрушения при пространственной изменчивости параметров прочности на сдвиг, необходимые для него время и ресурсы могут быть неприемлемыми, поскольку для достаточно точной оценки в этом случае необходимо значительное количество «прогонов» конечноэлементной модели. Особенно много усилий затрачивается при анализе с относительно небольшим уровнем вероятности разрушения или когда при расчете устойчивости требуется выполнить сложный анализ с помощью МКЭ.

Традиционные стохастические (вероятностные) конечноэлементные методы требуют значительной модификации существующих компьютерных программ, предназначенных для детерминированного анализа на основе МКЭ, что почти невозможно для большинства инженеров, не имеющих доступа к исходным кодам коммерческих программных пакетов.

Поэтому необходимо более эффективно исследовать те методы анализа надежности откосов и склонов, которые учитывают пространственно изменчивые параметры прочности на сдвиг и требуют сложного анализа методом конечных элементов для определения коэффициента запаса устойчивости.

Ввиду вышесказанного Цзян с коллегами [1] предлагают для анализа надежности откосов и склонов с учетом изменчивых параметров прочности на сдвиг использовать стохастический метод конечных элементов, являющийся неинтрузивным (то есть не требующим доступа к исходным кодам и внесения изменений в существующие конечноэлементные программы).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ►

Пространственная изменчивость свойств грунтового массива ►

Гауссовское случайное поле полностью определяется средним значением $\mu(x)$, стандартным отклонением $\sigma(x)$ и автокорреляционной функцией $\rho(x_1, x_2)$. Последняя является важной физической величиной для описания пространственной корреляции свойств грунта.

Цзян и др. [1] используют следующую двумерную квадратичную экспоненциальную автокорреляционную функцию с разными автокорреляционными интервалами в горизонтальном и вертикальном направлениях:

$$\rho[(x_1, y_1), (x_2, y_2)] = \exp\left(-\left[\left(\frac{|x_1 - x_2|}{l_h}\right)^2 + \left(\frac{|y_1 - y_2|}{l_v}\right)^2\right]\right), \quad (1)$$

где (x_1, y_1) , (x_2, y_2) – координаты двух произвольных точек в двумерном пространстве; l_h , l_v – интервалы автокорреляции в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно.

Разложение Карунена – Лоэва ►

Цзян и др. [1] напоминают, что для дискретизации случайного поля можно использовать несколько методов, таких как метод средней точки, метод разбиения на локальные средние, метод функции формы, разложение Карунена – Лоэва (Karhunen-Loeve). Поскольку последний из перечисленных методов требует минимального количества случайных переменных для заданного уровня точности, он используется для дискретизации двумерных анизотропных случайных полей параметров прочности на сдвиг.

Далее авторы статьи [1], чтобы облегчить понимание предлагаемого метода, кратко рассматривают разложение Карунена – Лоэва.

Случайное поле $\mathbf{H}(x, \theta)$ представляет собой набор случайных величин, связанных с непрерывным показателем

$$x \in \Omega \subseteq R^n, \quad (2)$$

где Ω – открытое множество величин R^n , описывающее геометрию системы; θ – координата в пространстве исходов, то есть:

$$\theta \in \Theta. \quad (3)$$

Дискретизация случайного поля с использованием разложения Карунена – Лоэва основана на спектральном разложении его автокорреляционной функции $\rho(x_1, x_2)$, которая обычно является ограниченной, симметричной и положительно определенной. Следовательно, дискретизация случайного поля является задачей на определение собственных значений однородного интегрального уравнения Фредгольма следующего вида:

$$\int_{\Omega} \rho(x_1, x_2) f_i(x_2) dx_2 = \lambda_i f_i(x_1), \quad (4)$$

где x_1, x_2 – координаты двух точек; f_i, λ_i – соответственно

собственные функции и собственные значения одномерной автокорреляционной функции $\rho(x_1, x_2)$.

Тогда собственные моды сепарабельной (разделимой) многомерной автокорреляционной функции вычисляются путем умножения на собственные моды, полученные из уравнения (4).

Задача нахождения собственных значений интегрального уравнения Фредгольма (4) часто решается численно из-за ее сложности. Авторы работы [1] решили применить метод Галеркина (с использованием гармонических вейвлетов).

Разложение в ряд двумерного случайного поля $\mathbf{H}_i(x, y)$ выражается так:

$$\mathbf{H}_i(x, y) = \mu_i + \sum_{j=1}^{\infty} \sigma_i \sqrt{\lambda_j} f_j(x, y) \xi_{i,j}, \quad x, y \in \Omega, \quad (5)$$

где $\xi_{i,j}$ – ортогональные случайные коэффициенты (некоррелированные случайные переменные с нулевым средним и единичной дисперсией).

Разложение в ряд (5), называемое разложением Карунена – Лоэва, характеризует момент второго порядка с точки зрения некоррелированных случайных переменных и детерминированных ортогональных функций. Известно, что оно сходится в смысле среднеквадратического отклонения для любого распределения $\mathbf{H}_i(x, y)$.

На практике используется приближение в виде ряда с конечным количеством членов в уравнении (5), то есть:

$$\tilde{\mathbf{H}}_i(x, y) = \mu_i + \sum_{j=1}^n \sigma_i \sqrt{\lambda_j} f_j(x, y) \xi_{i,j}, \quad x, y \in \Omega, \quad (6)$$

где n – количество сохраняемых членов разложения Карунена – Лоэва, которое сильно зависит от желаемой точности и автокорреляционной функции случайного поля (малые значения автокорреляционных интервалов приведут к значительному увеличению числа собственных мод n).

В некоторых исследованиях в качестве меры точности усеченного ряда использовался параметр ε , который определяется следующим образом:

$$\varepsilon = \int_{\Omega} E(\tilde{\mathbf{H}}_i(x, y) - \mu_i)^2 dx dy / \int_{\Omega} E(\mathbf{H}_i(x, y) - \mu_i)^2 dx dy = \sum_{i=1}^n \lambda_i / \sum_{i=1}^{\infty} \lambda_i, \quad (7)$$

где собственные значения λ_i отсортированы по убыванию.

Большое значение параметра точности ε всегда свидетельствует о высокой точности усеченного ряда.

Взаимно коррелированные негауссовские случайные поля ▶

Далее Цзян с коллегами [1] рассказывают о том, что в инженерно-геологической практике часто приходится моделировать более одного геотехнического параметра с помощью случайных полей. Кроме того, геотехническая литература изобилует информацией о взаимных корреляциях между двумя геотехническими параметрами. В таких случаях требуется обработка взаимно коррелированных случайных полей.

Принимается, что все поля, моделируемые в области Ω , имеют одинаковую автокорреляционную функцию, а структура взаимной корреляции между каждой парой смоделированных полей определяется коэффициентом взаимной корреляции. Это может обеспечить соответствие целевых случайных полей структуре корреляции в пределах каждого поля.

При указанных допущениях модальное разложение автокорреляционной функции выполняется только один раз. Для разложения взаимно коррелированных случайных полей мо-

жет применяться один и тот же спектр собственных функций и собственных значений. Здесь Цзян и др. [1] отмечают, что используемые наборы случайных величин для разложения взаимно коррелированных случайных полей также являются взаимно коррелированными.

Далее авторы статьи [1] иллюстрируют процедуру моделирования взаимно коррелированных случайных полей на примере удельного сцепления c и угла внутреннего трения ϕ , обозначив матрицу коэффициентов взаимной корреляции между c и ϕ следующим образом:

$$\mathbf{R}_{c,\phi} = (\rho_{c,\phi})_{2 \times 2}. \quad (8)$$

Сначала формируется матрица выборок ξ размером $(n \times N_p) \times N_p$, где N_p – количество смоделированных выборок (или количество «прогнозов» детерминированной модели устойчивости откоса или склона), N_p – количество случайных полей. Каждый из N_p столбцов является одной реализацией вектора независимой стандартной нормальной выборки, разбитого на N_p векторов, каждый из которых имеет размер n .

Для дискретизации взаимно коррелированных случайных полей с участием двух пространственных переменных c и ϕ можно сформировать k -й столбец матрицы выборок ξ

$$\xi_k = \{\xi_c^k, \xi_\phi^k\}; \quad \xi_c^k = \{\xi_{c,1}^k, \xi_{c,2}^k, \dots, \xi_{c,n}^k\}^T; \quad \xi_\phi^k = \{\xi_{\phi,1}^k, \xi_{\phi,2}^k, \dots, \xi_{\phi,n}^k\}^T, \quad (9)$$

с помощью двух наборов точек независимых стандартных нормальных распределений вероятностей или точек выборки латинского гиперкуба.

Нижняя треугольная матрица \mathbf{L} размером 2×2 получается с помощью разложения Холецкого матрицы коэффициентов взаимной корреляции $\mathbf{R}_{c,\phi}$. Затем получается матрица коррелированной стандартной нормальной выборки χ , k -й столбец которой χ_k определяется формулой:

$$\chi_k = [\chi_c^k, \chi_\phi^k] = \xi_k \cdot \mathbf{L}^T = [\xi_c^k, \xi_\phi^k \cdot \rho_{c,\phi} + \xi_c^k \cdot \sqrt{1 - \rho_{c,\phi}^2}]; \quad k = 1, 2, \dots, N_p, \quad (10)$$

где матрица ξ_k размером $n \times 2$ формируется путем перестройки k -го столбца матрицы выборок ξ .

Если принять в качестве основы вектор коррелированной стандартной нормальной выборки χ_k , то k -я реализация каждого из взаимно коррелированных гауссовских случайных полей c и ϕ запишется так:

$$\tilde{\mathbf{H}}_i^{k,D} = \mu_i + \sum_{j=1}^n \sigma_i \sqrt{\lambda_j} f_j(x, y) \chi_{i,j}^k \quad (\text{для } i = c, \phi). \quad (11)$$

Подобно изовероятностному преобразованию ненормально распределенных случайных величин, k -я реализация аппроксимации (приближения) взаимно коррелированных негауссовских случайных полей может быть получена покомпонентно:

$$\mathbf{H}_i^{k,NG}(x, y) = G_i^{-1} \left\{ \Phi \left[\tilde{\mathbf{H}}_i^{k,D}(x, y) \right] \right\} \quad (\text{для } i = c, \phi), \quad (12)$$

где G_i^{-1} – обратная функция предельного кумулятивного распределения каждой компоненты негауссовского векторного случайного поля $H^{NG}(x, y)$; Φ – функция стандартного распределения Гаусса.

Если параметры прочности на сдвиг (c , ϕ) считаются распределенными логнормально, то k -я реализация приближенных взаимно коррелированных логнормальных случайных полей может быть получена путем потенцирования прибли-

женных взаимно коррелированных гауссовских случайных полей из уравнения (12) следующим образом:

$$H_i^{k,IN}(x,y) = \exp\left(\mu_{\ln i} + \sum_{j=1}^n \sigma_{\ln i} \sqrt{\lambda_j} f_j(x,y) \chi_{i,j}^k\right) \quad (\text{для } i = c, \phi), \quad (13)$$

где

$$\mu_{\ln i} = \ln \mu_i - \sigma_{\ln i}^2/2; \quad \sigma_{\ln i} = \sqrt{\ln(1 + (\sigma_i/\mu_i)^2)}, \quad (14)$$

представляют собой среднее значение и стандартное отклонение гауссовской случайной величины $\ln i$ соответственно.

ПРОЦЕДУРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕИНТРУЗИВНОГО СТОХАСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ►

Цзян с соавторами [1] описывают следующие девять шагов, из которых состоит процедура выполнения анализа надежности откоса или склона с помощью неинтрузивного стохастического метода конечных элементов (см. также рисунок).

1. Определение пространственно изменчивых переменных и их статистических показателей (средних значений, коэффициентов вариации COV, распределений и коэффициентов взаимной корреляции между переменными, связанными с задачей оценки надежности откоса или склона). Далее – выбор подходящей автокорреляционной функции и оценка автокорреляционных интервалов в горизонтальном и вертикальном направлениях для двумерной модели случайного поля.

2. Построение модели для анализа устойчивости откоса или склона методом конечных элементов со средними значениями входных переменных с использованием программ SIGMA/W и SLOPE/W (GEO-SLOPE International Ltd., 2010 a, b). Далее – нахождение координат $(x_{o,i}, y_{o,i})$ центраида (геометрического центра) i -го элемента, где $i = 1, 2, \dots, n_e$; n_e – количество конечных элементов. Затем – сохранение файла детерминированной модели устойчивости откоса или склона как входного с именем FEM-FS.xml. В этом файле содержится вся информация, нужная для программ SIGMA/W и SLOPE/W (она также может быть введена непосредственно через текстовый редактор). Цзян и др. [1] обращают внимание читателей на то, что коэффициент запаса устойчивости склона рассчитывается с использованием метода конечных элементов (Farias, Naylor, 1998) в SLOPE/W с использованием поля напряжений, полученного методом конечных элементов в SIGMA/W.

3. Построение матрицы независимых стандартных нормальных выборок ξ размером $(n \times N_F) \times N_p$ с использованием вероятностных коллокационных точек (или точек выборки латинского гиперкуба). Далее – преобразование матрицы независимых стандартных нормальных выборок ξ в матрицу коррелированных стандартных нормальных выборок χ с помощью уравнения (10).

4. Моделирование взаимно коррелированных негауссовских случайных полей пространственно изменчивых переменных с помощью матрицы выборок χ , координат $(x_{o,i}, y_{o,i})$ и разложения Карунена – Лоэва. Таким образом – получение N_p реализаций взаимно коррелированных негауссовых случайных полей пространственно изменчивых значений параметров прочности на сдвиг в физическом пространстве, которые присваиваются каждому конечному элементу рассматриваемого откоса или склона.

5. Замена средних значений соответствующих неопределенных входных параметров в центроиде (геометрическом центре) каждого конечного элемента в файле FEMFS.xml,

созданном на шаге 2, на каждую пару пространственно изменчивых переменных (то есть c и ϕ) в каждой реализации случайных полей из шага (4). Таким образом – создание N_p различных новых входных файлов FEM-FS.xml. При этом не требуется усилий по программированию для модификации существующей конечноэлементной программы в отличие от процедуры использования спектрального стохастического метода конечных элементов (Ghanem, Spanos, 2003).

6. «Прогоны» каждого нового входного файла FEM-FS.xml, созданного на шаге (5), в программах SIGMA/W и SLOPE/W для детерминированного конечноэлементного анализа устойчивости откоса или склона. Это может выполняться автоматически с помощью Winbatch™ (скриптового языка Microsoft Windows, имеющего дополнительный компилятор, используемый для создания автономно выполняемых программ). Этот процесс приведет к получению N_p различных коэффициентов запаса устойчивости откоса или склона $FS = (FS_1, FS_2, \dots, FS_{N_p})$, которые можно будет непосредственно «извлечь» из соответствующих файлов результатов FEM-FS.fac.

7. Замена неявной функции зависимости между коэффициентом запаса устойчивости откоса или склона FS и неопределенными входными параметрами на разложение в полиномиальный хаос (разложение ПНХ) с использованием полиномов Эрмита (такое разложение для конечноэлементного анализа откоса или склона называется метамоделью, суррогатной моделью, моделью модели, разложением ПНХ Эрмита (Isukapalli et al., 1998; Ghanem, Spanos, 2003)):

$$\begin{aligned} FS(\xi) = & a_0 \Gamma_0 + \sum_{i_1=1}^N a_{i_1} \Gamma_1(\xi_{i_1}) + \sum_{i_1=1}^N \sum_{i_2=1}^{i_1} a_{i_1 i_2} \Gamma_2(\xi_{i_1}, \xi_{i_2}) + \\ & + \sum_{i_1=1}^N \sum_{i_2=1}^{i_1} \sum_{i_3=1}^{i_2} a_{i_1 i_2 i_3} \Gamma_3(\xi_{i_1}, \xi_{i_2}, \xi_{i_3}) + \dots + \\ & + \sum_{i_1=1}^N \sum_{i_2=1}^{i_1} \sum_{i_3=1}^{i_2} \dots \sum_{i_N=1}^{i_{N-1}} a_{i_1 i_2 \dots i_N} \Gamma_N(\xi_{i_1}, \xi_{i_2}, \dots, \xi_{i_N}), \end{aligned} \quad (15)$$

где N – общее количество случайных величин, $N = n \times N_F$; a (с разными нижними индексами) – неизвестные коэффициенты, подлежащие оценке (количество этих коэффициентов в уравнении равно $N_c = (N + p)/(N! \times p!)$ для разложения ПНХ p -го порядка); ξ_i (с разными нижними индексами после i) – вектор независимых стандартных нормальных переменных, представляющих неопределенности во входных параметрах, который соответствует случайным переменным, используемым для дискретизации случайных полей с применением разложения Карунена – Лоэва (5); $\Gamma_N(\xi_{i_1}, \xi_{i_2}, \dots, \xi_{i_N})$ – многомерные многочлены Эрмита N -й степени.

Такое разложение широко используется в геотехнике (Li et al., 2011; Mollon et al., 2011; Al-Bittar, Soubra, 2013). Для получения подробной информации Цзян с соавторами [1] советуют ознакомиться с работами Ганема и Спаноса (Ghanem, Spanos, 2003), Ли и др. (Li et al., 2011).

8. Определение неизвестных коэффициентов в разложении ПНХ Эрмита путем приравнивания коэффициентов запаса устойчивости, полученных на шаге 6, к оценкам по уравнению (15) при матрице ξ из шага 3. Далее – формирование и решение системы линейных уравнений. Для этой цели могут быть использованы коллокационный метод, основанный на принципе линейной независимости (Li, Zhang, 2007), или регрессия, основанная на подходе Исупакали и др. (Isuka-

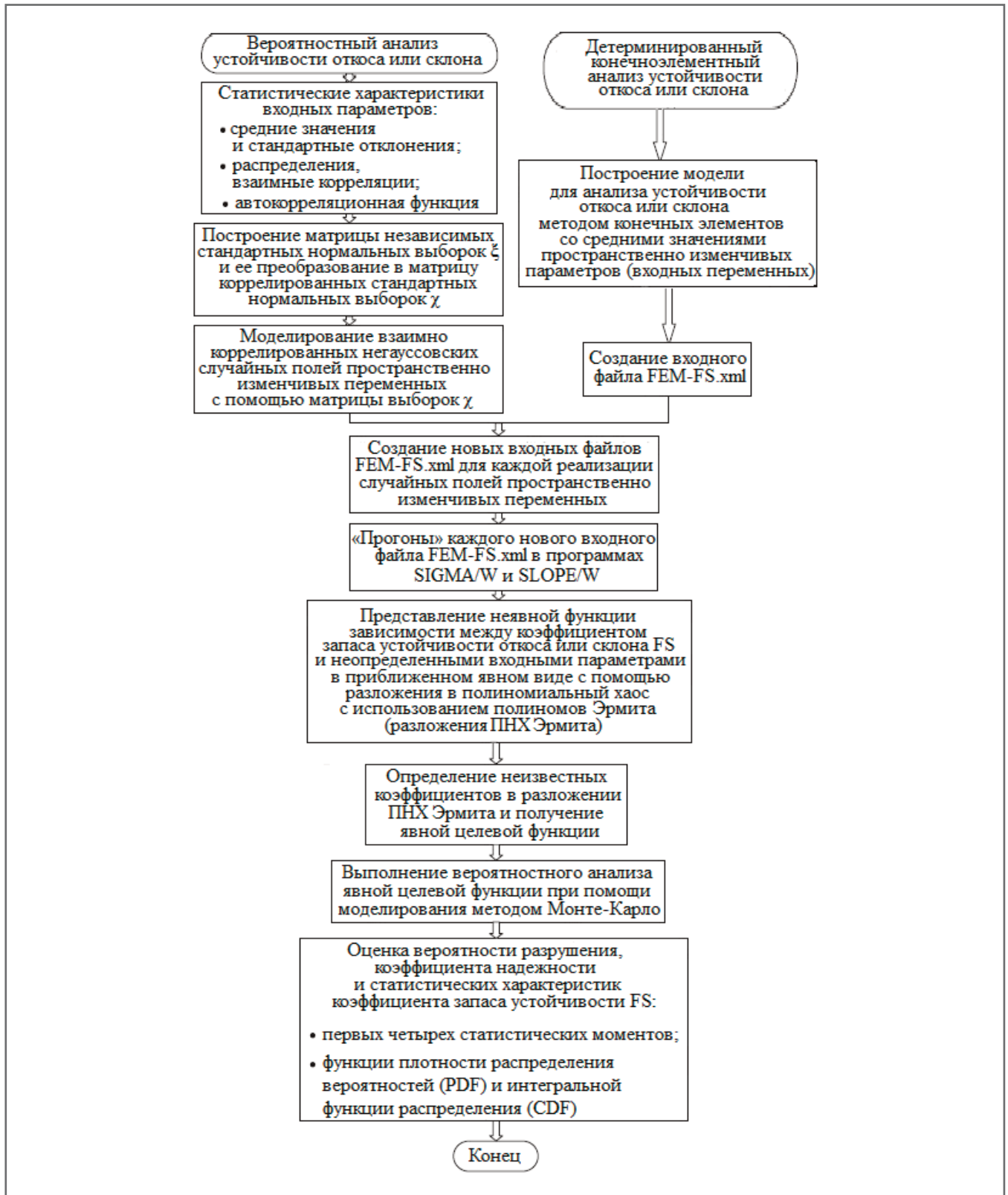


Рис. Блок-схема процедуры выполнения анализа надежности откосов или склонов с помощью неинтрузивного стохастического метода конечных элементов

ralli et al., 1998). В результате – нахождение явной функции зависимости между FS и неопределенными входными параметрами.

9. Выполнение вероятностного анализа явной целевой функции $G(\xi) = (FS(\xi) - 1)$. Вероятность разрушения и соответствующий коэффициент запаса устойчивости FS можно оценить с помощью моделирования методом Монте-Карло с использованием 1 млн выборок для целевой функции с коэф-

фициентом FS, представленным разложением ПНХ Эрмита. Первые четыре статистических момента также могут быть непосредственно оценены с помощью разложения ПНХ (Mollon et al., 2011). Здесь Цзян и др. [1] отмечают, что оценка целевой функции не требует опять детерминированного конечноэлементного анализа устойчивости откоса или склона, а включает только расчеты по простым алгебраическим выражениям, что намного эффективнее в вычислительном отношении.

ВЫВОДЫ, СДЕЛАННЫЕ АВТОРАМИ СТАТЬИ [1] ►

Авторы статьи [1] предложили метод анализа надежности откосов и склонов с учетом пространственно изменчивых параметров прочности на сдвиг с помощью неинтрузивного стохастического метода конечных элементов (прежде всего они использовали разложение Карунена – Лоэва для дискретизации двумерных взаимно коррелированных негауссовских случайных полей этих пространственно изменчивых переменных). Кроме того, они рассмотрели конкретные примеры использования этого метода, которые продемонстрировали его возможности и достоверность получаемых результатов (но в настоящем обзоре эти примеры не представлены).

В заключение Цзян с коллегами [1] делают следующие выводы (в том числе на основе рассмотренных ими конкретных случаев анализа).


1. Предложенный неинтрузивный стохастический метод конечных элементов представляет собой практический инструмент для решения задач по определению надежности откосов и склонов с учетом пространственной изменчивости параметров прочности на сдвиг, и он не требует от пользователей изменений в программах, предназначенных для детерминированного конечноэлементного анализа, и доступа к их исходным кодам. Более того, при его использовании детерминированный конечноэлементный анализ и вероятностный анализ разделены.

2. Этот метод позволяет эффективно оценивать надежность откосов или склонов при наличии пространственной изменчивости параметров прочности на сдвиг. С его помощью можно существенно уменьшить количество обращений

к детерминированной конечноэлементной модели и гораздо более эффективно оценить надежность откоса или склона с учетом изменчивых параметров сдвиговой прочности, чем с применением метода выборки значений из латинского гиперкуба, в том числе при больших значениях коэффициента устойчивости (что соответствует большинству практических случаев).

3. Если коэффициент вариации показателей прочности на сдвиг превышает критическое значение или если коэффициент запаса устойчивости FS относительно невелик, то игнорирование пространственной изменчивости параметров сдвиговой прочности приведет к оценкам вероятности разрушения откоса или склона, не обеспечивающим запаса устойчивости. При этом критические значения коэффициента вариации параметров прочности на сдвиг увеличиваются с ростом коэффициента FS.

4. Изменение вероятности разрушения откоса или склона сильно зависит от коэффициента запаса устойчивости FS. Чем меньше значение FS, тем больше вероятность того, что параметры прочности на сдвиг с низкой изменчивостью будут приводить к завышению вероятности разрушения.

5. Когда пространственная автокорреляция параметров прочности на сдвиг очень слаба, для получения достаточно точных результатов оценки надежности требуется больше членов разложения Карунена – Лоэва. Чтобы повысить эффективность вычислений, в неинтрузивный стохастический метод конечных элементов должны быть включены другие высокоэффективные разложения ряда, например в разреженный полиномиальный хаос. 

ИСТОЧНИК ►

1. Jiang S.H., Li D.Q., Zhang L.M., Zhou C.B. Slope reliability analysis considering spatially variable shear strength parameters using a non-intrusive stochastic finite element method // *Engineering Geology*. 2014. Vol. 168. P. 120–128.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ, НА КОТОРЫЕ ССЫЛАЮТСЯ АВТОРЫ СТАТЬИ [1] ►

Al-Bittar T., Soubra A.-H. Bearing capacity of strip footings on spatially random soils using sparse polynomial chaos expansion // *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.* 2013. Vol. 37. № 13. P. 2039–2060.

Ching J., Phoon K.K. Effect of element sizes in random field finite element simulations of soil shear strength // *Comput. Struct.* 2013. Vol. 126. P. 120–134.

Cho S.E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability // *Eng. Geol.* 2007. Vol. 92. № 3–4. P. 97–109.

Cho S.E. Probabilistic assessment of slope stability that considers the spatial variability of soil properties // *J. Geotech. Geoenviron.* 2010. Vol. 136. № 7. P. 975–984.

Cho S.E. Probabilistic analysis of seepage that considers the spatial variability of permeability for an embankment on soil foundation // *Eng. Geol.* 2012. Vol. 133–134. P. 30–39.

Choi S.K., Canfield R., Grandhi R., Pettit C. Polynomial chaos expansion with Latin hypercube sampling for estimating response variability // *AIAA J.* 2004. Vol. 42. № 6. P. 1191–1198.

Der Kiureghian A., Ke J.-B. The stochastic finite element method in structural reliability // *Probabilistic Eng. Mech.* 1988. Vol. 3. № 2. P. 83–91.

Duncan J.M. Factors of safety and reliability in geotechnical engineering // *J. Geotech. Geoenviron.* 2000. Vol. 126. № 4. P. 307–316.

El-Ramly H., Morgenstern N.R., Cruden D.M. Probabilistic stability analysis of a tailings dyke on presheared clay-shale // *Can. Geotech. J.* 2003. Vol. 40. № 1. P. 192–208.

Farias M.M., Naylor D.J. Safety analysis using finite elements // *Comput. Geotech.* 1998. Vol. 22. № 2. P. 165–181.

Fenton G.A., Griffiths D.V. Bearing capacity prediction of spatially random c - ϕ soils // *Can. Geotech. J.* 2003. Vol. 40. № 1. P. 54–65.

GEO-SLOPE International Ltd. Stress-deformation modeling with SIGMA/W2007 version: an engineering methodology [computer program]. Calgary, Alberta, Canada: GEO-SLOPE International Ltd., 2010a.

- GEO-SLOPE International Ltd. Stability modeling with SLOPE/W 2007 version: an engineering methodology [computer program]. Calgary, Alberta, Canada: GEO-SLOPE International Ltd., 2010b.
- Ghanem R.G., Spanos P.D. Stochastic finite element: a spectral approach. Revised version. Mineola, New York: Dover Publication Inc., 2003.
- Griffiths D.V., Fenton G.A. Probabilistic slope stability analysis by finite elements // *J. Geotech. Geoenviron.* 2004. Vol. 130. № 5. P. 507–518.
- Griffiths D.V., Huang J.S., Fenton G.A. Probabilistic infinite slope analysis // *Comput. Geotech.* 2011. Vol. 38. № 4. P. 577–584.
- Huang S.P. Simulation of random processes using Karhunen–Loeve expansion: Ph.D. thesis Singapore: National University of Singapore, 2001.
- Isukapalli S.S., Roy A., Georgopoulos P.G. Stochastic response surface methods for uncertainty propagation: application to environmental and biological systems // *Risk Anal.* 1998. Vol. 18. № 3. P. 351–363.
- Ji J., Liao H.J., Low B.K. Modeling 2-D spatial variation in slope reliability analysis using interpolated autocorrelations // *Comput. Geotech.* 2012. Vol. 40. P. 135–146.
- Laloy E., Rogiers B., Vrugt J.A., Mallants D., Jacques D. Efficient posterior exploration of a high-dimensional groundwater model from two-stage MCMC simulation and polynomial chaos expansion // *Water Resour. Res.* 2013. Vol. 49. № 5. P. 2664–2682.
- Li H., Zhang D. Probabilistic collocation method for flow in porous media: comparisons with other stochastic method // *Water Resour. Res.* 2007. Vol. 43. № W09409. P. 44–48.
- Li D.Q., Chen Y.F., Lu W.B., Zhou C.B. Stochastic response surface method for reliability analysis of rock slopes involving correlated non-normal variables // *Comput. Geotech.* 2011. Vol. 38. № 1. P. 58–68.
- Li D.Q., Jiang S.H., Chen Y.G., Zhou C.B. A comparative study of three collocation point methods for odd order stochastic response surface method // *Struct. Eng. Mech.* 2013a. Vol. 45. № 5. P. 595–611.
- Li D.Q., Tang X.S., Phoon K.K., Chen Y.F., Zhou C.B. Bivariate simulation using copula and its application to probabilistic pile settlement analysis // *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.* 2013b. Vol. 37. № 6. P. 597–617.
- Li D.Q., Qi X.H., Phoon K.K., Zhang L.M., Zhou C.B. Effect of spatially variable shear strength parameters with linearly increasing mean trend on reliability of infinite slopes // *Struct. Saf.* 2013c. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.strusafe.2013.08.005>.
- Liu W.K., Belytschko T., Mani A. Random field finite elements // *Int. J. Numer. Methods Eng.* 1986. Vol. 23. № 10. P. 1831–1845.
- Low B.K., Lacasse S., Nadim F. Slope reliability analysis accounting for spatial variation // *Georisk.* 2007. Vol. 1. № 4. P. 177–189.
- Lumb P. Safety factors and the probability distribution of soil strength // *Can. Geotech. J.* 1970. Vol. 7. № 3. P. 225–242.
- Mollon G., Dias D., Soubra A.-H. Probabilistic analysis of pressurized tunnels against face stability using collocation-based stochastic response surface method // *J. Geotech. Geoenviron.* 2011. Vol. 137. № 4. P. 385–397.
- Phoon K.K., Kulhawy F.H. Characterization of geotechnical variability // *Can. Geotech. J.* 1999. Vol. 36. № 4. P. 612–624.
- Phoon K.K., Huang S.P., Quek S.T. Implementation of Karhunen-Loeve expansion for simulation using a wavelet-Galerkin scheme // *Probabilistic Eng. Mech.* 2002. Vol. 17. № 3. P. 293–303.
- Srivastava A., Sivakumar Babu G.L. Effect of soil variability on the bearing capacity of clay and in slope stability problems // *Eng. Geol.* 2009. Vol. 108. № 1–2. P. 142–152.
- Srivastava A., Sivakumar Babu G.L., Haldar S. Influence of spatial variability of permeability property on steady state seepage flow and slope stability analysis // *Eng. Geol.* 2010. Vol. 110. № 3–4. P. 93–101.
- Stefanou G. The stochastic finite element method: past, present and future // *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2009. Vol. 198. № 9–12. P. 1031–1051.
- Tabarrok M., Ahmad F., Banaki R., Jha S., Ching J. Determining the factors of safety of spatially variable slopes modeled by random fields // *J. Geotech. Geoenviron.* 2013. Vol. 139. № 12. P. 2082–2095.
- Tang X.S., Li D.Q., Chen Y.F., Zhou C.B., Zhang L.M. Improved knowledge-based clustered partitioning approach and its application to slope reliability analysis // *Comput. Geotech.* 2012. Vol. 45. P. 34–43.
- Tang X.S., Li D.Q., Rong G., Phoon K.K., Zhou C.B. Impact of copula selection on geotechnical reliability under incomplete probability information // *Comput. Geotech.* 2013. Vol. 49. P. 264–278.
- Vanmarcke E.H. Probabilistic modeling of soil profiles // *J. Geotech. Eng. Div.* 1977. Vol. 103. № 11. P. 1227–1246.
- Vanmarcke E.H. Random fields: analysis and synthesis. Revised and expanded new edition. World Beijing: Scientific Publishing, 2010.
- Vorechovsky M. Simulation of simply cross-correlated random fields by series expansion methods // *Struct. Saf.* 2008. Vol. 30. № 4. P. 337–363.
- Wang Y., Cao Z.J., Au S.K. Practical reliability analysis of slope stability by advanced Monte Carlo simulations in a spreadsheet // *Can. Geotech. J.* 2011. Vol. 48. № 1. P. 162–172.
- Wolff T.F. Analysis and design of embankment dam slopes: a probabilistic approach: Ph.D. thesis. Lafayette, Ind, USA: Purdue University, 1985.
- Zhang J., Huang H.W., Juang C.H., Li D.Q. Extension of Hassan and Wolff method for system reliability analysis of soil slopes // *Eng. Geol.* 2013. Vol. 160. P. 81–88.
- Zhu H., Zhang L.M. Characterizing geotechnical anisotropic spatial variations using random field theory // *Can. Geotech. J.* 2013. Vol. 50. № 7. P. 723–734.



TRUMER
Schutzbauten

www.trumer.cc

Россия:
ООО «РТ Трумер»
119002, г. Москва, переулок Сивцев Вражек,
дом 29/16

Тел.: +7 915 022 75 17
E-Mail: info@trumer.ru

ЗАЩИТА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ

TRUMER Schutzbauten — ваш компетентный и опытный партнер в области обеспечения эффективной защиты от природных опасностей:

- ▶ камнепадов,
- ▶ оползней,
- ▶ селей,
- ▶ обвалов,
- ▶ лавин,
- ▶ береговой эрозии.



Следуя девизу

**«БЕЗОПАСНОСТЬ, ОБЕСПЕЧЕННАЯ ПРОФЕССИОНАЛАМИ, —
БЕЗОПАСНОСТЬ БЕЗ КОМПРОМИССОВ»,**

компания ТРУМЕР разрабатывает и реализует надежные,
эффективные и экономичные решения.



РеноМак+

ГОТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПОДВОДНОЙ УКЛАДКИ

ГОТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ МАККАФЕРРИ ДЛЯ ПОДВОДНОЙ УКЛАДКИ

КУКЛО ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ
Директор по маркетингу
«Маккаферри СНГ»

MACCAFERRI
info@ru.maccaferri.com

Габрионы и Матрацы Рено® давно используются для защиты гидротехнических сооружений и береговой линии от размывания и разрушения. Установка таких конструкций под водой – долгая, неудобная и ресурсозатратная. «Маккаферри» представляет новое решение – Реномак® и Кубимак®. Они обеспечивают максимальную эффективность ресурсоемких сооружений, сохраняют превосходные характеристики и упрощают процесс укладки матрацев под водой без водолазных работ.

Акватория порта — речного или морского — подвержена эрозии дна и подпричальных пространств. Сложные гидрогеологические условия связаны с воздействием волнового потока от движителей судов. Винты создают мощное вихревое движение воды. Чтобы обеспечить нормальный доступ судов к причалам, возможность их маневрирования, в портах должна предусматриваться противоэрозионная защита дна подходов каналов и подпричальных пространств.

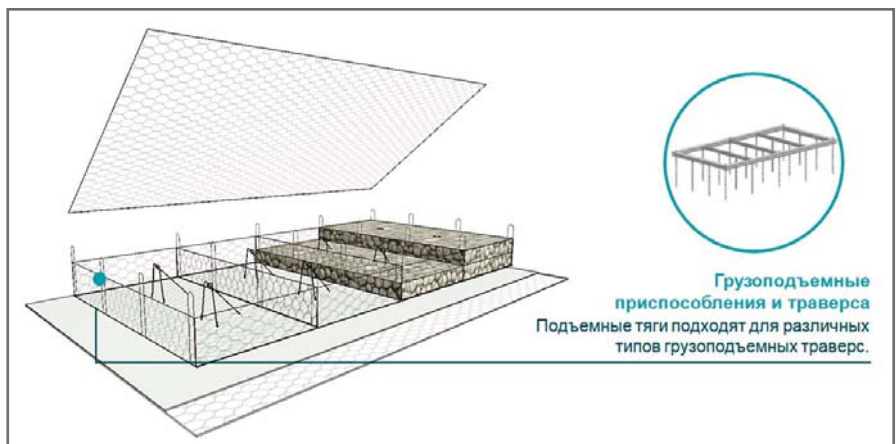
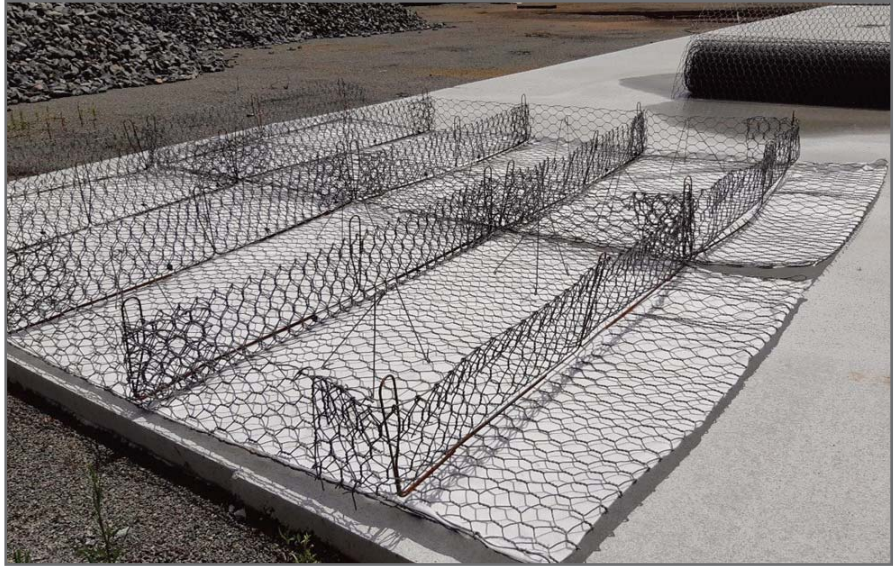
Чтобы снизить степень разрушения, используют гидротехнические сооружения. Каменная наброска, наброска крупного обломочного материала используются для защиты береговой линии от размывания, а донного грунта — от ослабления, связанного с вихревыми потоками. Такую каменную наброску надо регулярно обновлять — раз в 3-5 лет. При этом расход материалов очень большой, а сами работы технически сложные. Крупный обломочный материал, камни приходится перегружать на баржу, выводить ее в акваторию порта и равномерно распределять по дну. При этом контролировать эффективность работ весьма проблематично. В северных районах с их сложными климатическими условиями выполнять такие работы особенно сложно из-за короткого временного периода, пригодного для выполнения противоэрозионной защиты.

РЕНОМАК — ГОТОВОЕ ЭКОНОМИЧНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРИЧАЛОВ ▶

Идея создания Реномак навеяна Матрацами Рено. Матрац Рено 23 см заменяет каменную наброску толщиной 1 м. Это сильно сокращает расход каменного материала без потери эффективности. Матрацы Рено защищают опоры мостов и сваи от подмывания, предохраняют подошвы конструкций портовых акваторий от размыва, вызванного вводом судов в док и выводом из него. Однако монтажные работы под водой проводить также сложно и проблематично. В связи с этим у инженеров компании возникла идея производить монтаж на берегу, а затем с помощью траверс погружать заполненные камнем конструкции в воду.

КАК УСТРОЕН РЕНОМАК? ▶

Модуль Реномак — это полностью готовое решение, которое доставляется на строительную площадку готовым к установке.



Реномак состоит из следующих компонентов:

1. Каркас из прочной сетки двойного кручения 6x8, изготовленной из проволоки с покрытием Полимак®. Это покрытие защищает от механических нагрузок и химического воздействия, обеспечивая длительный срок эксплуатации 50+ лет.
2. Вертикальная двойная диафрагма разделяет пространство внутри матраца и облегчает заполнение камнем.

3. На дно укладывается геотекстиль Мактекс Н. Высококачественный нетканый геотекстиль используют для разделения слоев засыпки. Он защищает от отложений мелкой дисперсии.
4. Диагональная стяжка X-Tie обеспечивает максимальную конструктивную прочность матраца.
5. Каркас заполняется камнем твердых пород.
6. В каркасе предусмотрены грузоподъемные тяги, которые подходят



под различные типы грузоподъемных траверс.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРЕДЗАПОЛНЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕНОМАК ▶

Оптимизация конструкции. Конструкция доставляется в готовом виде, плотно заполненная камнем. Конструкция экспериментальным путем разработана так, чтобы требовалось использовать небольшое количество камня. Это обеспечивает меньшую толщину модуля Реномак и позволяет оставить больше пространства между килем судна и грунтом. Гибкая и проницаемая конструкция компенсирует осаждение грунта без потери армирующей способности. Они хорошо приспособиваются к относительной осадке за счет эффективного перераспределения напряжений внутри конструкции.

Простая и надежная установка. Укладка и заполнение собранных конструкций под водой может оказаться сложной задачей. Когда конструкцию заполняют камнем на суше, а крышку матраца закрывают и надежно фиксируют, ее удастся установить значительно точнее. Кроме того повышается безопасность работ. Поскольку конструкции доставляют к месту уже в готовом к монтажу виде, непосредственно процесс установки занимает на порядок меньше времени по сравнению с традиционными способами. Наличие закладных для траверс упрощает процесс перемещения.

Скорость установки. Время на монтаж блоков Реномак требуется меньше. Монтажные работы менее зависимы от уровня воды и погодных условий, что особенно актуально для портов северных широт.

Увеличенный срок службы. Для сетки двойного кручения используется

высококачественная проволока с покрытием Полимак. Это покрытие выдерживает самые агрессивные условия, низкие температуры и устойчиво к механическим повреждениям и истиранию. Это способствует долговечности конструкций. По предварительным прогнозам — 50-70 лет и более. Отсутствие необходимости подсыпать камень в конструкции делает эти гидротехнические сооружения очень удобными и простыми в использовании.

Совокупная стоимость владения. В отличие от каменной наброски, для установки блоков Реномак требуется дополнительная подготовка дна и специальные погрузчики. То есть определенные затраты при строительстве все-таки будут, но за счет пролонгированного срока службы без техобслуживания, привлечения водолазов и регулярной добавки материала, стоимость владения окажется на порядок ниже.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНОМАК ▶

Применение модулей Реномак будет обосновано и эффективно везде, где необходимо:

- обеспечить нормальный доступ судов к причалам;
- обеспечить возможность маневрирования судов, особенно с глубокой посадкой;
- предусмотреть противоэрозионную защиту дна подходных каналов и подпричальных пространств;
- укрепить слабые грунты;
- обеспечить защиту причалов в сложных климатических условиях северных широт.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЕЙ РЕНОМАК В ПОРТУ САБЕТТА ▶

В 2018 г. компания Маккаферри участвовала в проекте укрепления дна

технологических причалов в морском порту Сабетта, который расположен за полярным кругом на полуострове Ямал. Порт обеспечивает навигацию судов-газовозов по Северному морскому пути.

Реализация проекта осложнялась рядом существенных факторов:

- отсутствие на побережье транспортной инфраструктуры;
- строительство велось с нуля;
- сложные геологические условия проведения работ — грунты на дне подходного канала характеризуются как слабые;
- специфические климатические и гидрологические условия проведения работ на Крайнем Севере;
- период навигации, позволяющий проводить дноуглубительные работы и доставлять тяжеловесные грузы по воде, очень короткий — всего 70 суток.

Для укрепления подпричального пространства подрядчики на стадии проектирования выбрали техническое решение с использованием габионно-сетчатых изделий Реномак, исходя из технико-экономического сравнения различных типов подводного укрепления в условиях слабых грунтов.

В результате за год общая площадь укрепления дна технологических причалов составила 118350 м² на глубине до 15 метров. С помощью специального водолазно-погружного комплекса «Тетрис» с GPS-навигацией удалось за одно погружение укладывать четыре блока общей площадью 63 м². Инженеры делали это по заранее заложенным координатам. Все это позволило максимально ускорить процесс укрепления порта.

Транспортировку Реномак-модулей в Сабетту осуществляли в заполненном виде из Архангельска. Поэтому именно там и наполняли конструкции диабатом —

камнем высокой плотности, который добывают в Архангельской области.

На сегодняшний день Реномак в порту Сабетта на всей защищенной акватории эксплуатируется без аварий и повреждений.

ЧТО ТАКОЕ КУБИМАК? ►

Когда нужно выйти на высокую отметку, сделать временное ограждение на гидротехническом объекте, очень удобно использовать модули, которые можно быстро установить и также без лишних хлопот убрать. С этой задачей идеально справляются габионы кубической формы, которые поставляются в готовом виде — Кубимак.

Кубимак, как и Реномак, делают строительство гидротехнических сооружений более экономичным, позволяют лучше контролировать расход каменных материалов и упрощают укрепление береговой линии водозащитных работ.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДУЛЕЙ КУБИМАК ►

- Кубимак — это готовый габион, который привозят на стройплощадку уже заполненным камнем и его остается только установить.

- Внешний каркас — это плотная и прочная сетка двойного кручения с шестиугольными ячейками. Она устойчива к деформации даже при подъеме.

- Нетканый геотекстиль, который выступает в роли фильтра мелко-дисперсионных отложений

- В конструкции предусмотрены приспособления для подъема и траверса. Грузоподъемная система прошла испытания и получила знак европейского качества CE.

- Проволока, из которой изготовлен габион, имеет покрытие Полимак, обеспечивающее долговечность.

ПРИМЕНЕНИЕ КУБИМАК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ►

При использовании модулей Кубимак при строительстве гидротехнических объектов учитывают такие ключевые факторы:

- 1) Модуль Кубимак — проницаемая конструкция, которая устойчива к высоким нагрузкам, но при этом обеспечивает фильтрацию воды.

- 2) Готовые к использованию модули Кубимак идеально подходят для решения задач, возникающих в ходе строительства для возведения временных дамб, фильтрующего слоя для удержания донных отложений.



- 3) Защита от наносов. При изготовлении Кубимак используется фильтрующая ткань. Как показывают замеры экологических показателей воды после плотин, значительных концентраций загрязняющих веществ не наблюдается.

- 4) Гарантия длительного срока службы.

ПОКРЫТИЕ ПОЛИМАК® ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАДЕЖНУЮ ЗАЩИТУ КОНСТРУКЦИЙ ►

Как уже говорилось выше, для изготовления сетки двойного сечения используется высококачественная проволока двойного кручения. Ее отличительная особенность в том, что она покрыта не только антикоррозионным напылением, но и ПВХ покрытием с более высокими показателями защиты. Это инновация Маккаферри — покрытие Полимак®.

- Оно в 10 раз устойчивее к истиранию.
- Выдерживает понижение температуры до -43 градусов без потери характеристик.

- Исключительная устойчивость к химически агрессивной среде.

- Имеет доказанную устойчивость к УФ-излучению.

Повышенная долговечность материала обеспечивает защиту от эрозии в

проектах укрепления грунта как под водой, так и на поверхности без вреда для окружающей среды.

Реномак и Кубимак — готовые модули для проведения работ на гидротехнических объектах. Они поставляются на строительную площадку уже в собранном виде. Сборка на берегу решает ряд сложностей монтажа под водой и ускоряет процесс строительства, снижая зависимость от погодных условий, уровня воды и даже при небольшом волнении. В совокупности все это ведет к экономии на стоимости владения конструкциями. Особенно важно, что эти конструкции предусматривают длительный срок службы — 50-70 лет без технического обслуживания.

Это хорошее решение для мест, где плохо развита транспортная инфраструктура, когда есть ограничения по времени работ и когда грунт слабый.

Маккаферри готова предложить расчет и разработку проекта и решений под него с учетом особенностей объекта.

Если у вас работаете над аналогичными проектами и вам необходима помощь наших экспертов — пожалуйста, свяжитесь с нами. **И**



Заглавное фото: <https://www.trumer.su/ru/index.html>

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ И НАДЕЖНОСТИ ГИБКИХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ КАМНЕПАДОВ

ФОЛЬКВЕЙН АКСЕЛЬ (VOLKWEIN AXEL)

Компания Pfeifer Isofer, г. Кнонау,
Швейцария, avolkwein@pfeifer.de

ФУЛДЕ МАРСЕЛЬ (FULDE, MARCEL)

Компания Geo-Inventure, г. Тальвиль,
Швейцария, m.fulde@geo-inventure.com

КРИГЕР-ХАУКССОН ИНГВАР

Компания Pfeifer Isofer, г. Кнонау,
Швейцария, ikrieger@pfeifer.de

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный адаптированный перевод обзора «Надежность гибких систем защиты от камнепадов». Его авторы – Аксель Фольквейн, Марсель Фулде и Ингвар Кригер-Хаукссон (Швейцария). Эта работа была опубликована в 2021 году в журнале Geosciences («Науки о Земле»).

Гибкие противокамнепадные системы эффективно защищают инфраструктуру и людей от камнепадов с кинетической энергией ударов от 100 до 10 000 кДж. Хотя они широко используются во всем мире, условия, гарантирующие надежность противокамнепадного барьера, не очень хорошо известны большинству заказчиков и посредников. Переведенная статья дает некоторое представление о том, как оценить возможности и надежность системы защиты от камнепадов. Основное внимание в ней уделяется трем стратегиям повышения уверенности в надежности функционирования барьера: испытаниям, сертификации стандартных противокамнепадных систем и оценке результатов их адаптации к конкретным условиям.

Консультационную помощь редакции при подготовке материала оказали специалисты ООО «РТ ТРУМЕР» – производителя гибких сетчатых конструкций для надежной и экономически выгодной инженерной защиты людей и инфраструктуры от опасных склоновых процессов.

Введение ►

Хотя отдельный камнепад затрагивает лишь небольшой участок, возможное распространение этой природной опасности угрожает более обширным территориям, особенно вдоль путей сообщения в горных районах, с риском больших разрушений и экономических и социальных потерь. Для защиты от камнепадов с уровнями энергии ударов от 100 до 10 000 кДж эффективны гибкие противокамнепадные барьеры.

Скальный обломок весом 25 т, движущийся со скоростью более 100 км/ч, представляет собой большую опасность. И трудно себе представить, что легкая конструкция гибкого камнеулавливающего ограждения может успешно его удержать.

Как можно доверить такой барьерной системе необходимую защиту людей, транспортных средств и инфраструктуры?

Каждый инженер также сталкивается со следующими вопросами. Подходит ли барьер к моему проекту? Как я узнаю, что мои требования к ограждению верны? Как я могу проверить эффективность того или иного подхода и с кем мне поговорить на данную тему?

Представленная статья дает некоторое представление о том, как оценить возможности и надежность гибкой системы защиты от камнепадов. Эти аспекты важны не только для людей, живущих или путешествующих рядом с такими барьерами, но и для людей, ответственных за выбор подходящей защитной системы. Ведь правильно выбрать и адаптировать противокамнепадный барьер для конкретных условий его использования – очень важная задача.

В этой работе основное внимание уделяется трем стратегиям повышения уверенности в правильности выбора конструкции барьера: необходимым испытаниям по подходящей методике, сертификации стандартных противокамнепадных систем и оценке результатов их адаптации к конкретным условиям. Очевидно, что подробное описание каждой из этих тем было бы очень обширным и потребовало бы отдельного рассмотрения самых разных примеров. Однако в данной статье будет представлен лишь краткий обзор по этим вопросам с конкретными ссылками на соответствующие публикации, большинство из которых легкодоступны.

Полномасштабные испытания ►

Самые хорошие доказательства правильного функционирования противо-

камнепадного барьера могут дать его полномасштабные испытания. С момента появления гибких систем защиты от камнепадов это все еще единственный метод, действительно обеспечивающий необходимую безопасность, и он получил широкое признание.

Даффи и Гловер [1] представили обзор процедур испытаний, используемых с начала 1960-х годов. В то время противокамнепадные барьеры испытывались на природных склонах, при этом с верхних частей этих склонов сбрасывались естественные блоки скальных пород. Такой метод обеспечивает наиболее естественные нагрузки на защитное ограждение. Однако он в то же время является рискованным, потому что не учитывает возможность того, что барьер либо вообще не подвергнется удару, либо удар придется на неподходящее место или будет иметь неподходящую энергию.

По этим причинам на следующем этапе стали применять метод испытаний с использованием удара блоком, движение которого ускоряли с помощью какой-либо лесохозяйственной канатной дороги. Это позволяло контролировать ускорение блока, и (при своевременном его освобождении) можно было спрогнозировать воздействие на защитное ограждение.

В конце 1990-х годов была введена стандартная методика испытаний, в соответствии с которой применяется кран для подвешивания блока над барьером, установленным перпендикулярно вертикальной скальной стенке. Затем высвобожденный блок падает и ударяется о барьер в месте, определенном с точностью до нескольких сантиметров. Эта процедура очень точна и воспроизводима.

Тем не менее все еще используются некоторые испытательные площадки, на которых блоки направляются для удара с помощью канатных дорог. На некоторых площадках даже применяются удары горизонтально ускоренно движущегося блока о вертикальный барьер. Хейсс [2] и Фольквейн [3] сравнили результаты «вертикального» и «наклонного» испытаний и пришли к выводу, что, в принципе, обе эти распространенные процедуры могут обеспечить прогнозируемое (требуемое) воздействие на барьер. Характеристики ограждений действительно различались в отношении разных (отдельных) результатов: например, остаточная полезная высота барьера после взаимодействия с блоком была на 10% меньше для вертикально испытанного ограждения, при этом

энергопоглощающие элементы последнего нагружались на 50% больше.

Натурные испытания также являются проверенным методом для нестандартных случаев нагрузки, вызываемой, например, падением дерева. При получении результатов тестирования важно в задокументированном виде представить как минимум: четкое описание испытаний, конфигурацию системы конструкций, процедуры измерений, внешний контроль, отчеты об испытаниях.

Еще один важный аспект, на который указывали Фольквейн и др. [4], заключается в том, что любая стандартизация испытаний противокамнепадных барьеров приводит к игнорированию изменчивости в естественных условиях, вызванной различиями в форме блока, вращательных движениях, скорости удара или месте столкновения. В частности, определенные места ударов могут нанести барьеру больший ущерб, чем испытанные стандартные варианты нагрузки, или даже могут привести к тому, что барьер полностью выйдет из строя. Кроме того, как показали исследования Баззи и др. [5], если ожидается падение небольших камней с высокими скоростями ударов, сетка ограждения может пострадать от прокалывающих нагрузок.

Поэтому новейшая тенденция в испытаниях противокамнепадных барьеров возвращает их к первоначальной форме, то есть на естественных склонах (например, Венделер и др. [6]).

Стандартизация ►

Преимущество точных и воспроизводимых процедур испытаний заключается в том, что могут быть определены стандарты тестирования. Например, было оценено, что камнепад с кинетической энергией удара о барьер 3 000 кДж соответствует удару блока массой 9 600 кг при его скорости в этот момент $25 \text{ м/с} = 90 \text{ км/ч}$. При таком подходе не учитывается, что до 40% кинетической энергии может составлять кинетическая энергия вращения. При этом принимается, что прямолинейно движущийся невращающийся блок имеет самую высокую и наиболее опасную концентрацию энергии к моменту удара о барьер.

На основе выдерживаемой кинетической энергии удара камнеулавливающие ограждения были разделены на следующие классы: 100, 250, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 5 000, 8 000, 10 000 кДж. Это позволяет заказчикам четко определить свои потребности для подачи заявки производителю.

Приведенные выше энергетические классы могут быть оценены путем изменений массы блока или скорости его удара. В Швейцарии методика, разработанная Гербером [7], устанавливает стандартную скорость удара на уровне до 25 м/с и использует изменение массы блока. Этот подход был основан на выводе о том, что потенциальную массу скального обломка при реальном камнепаде в полевых условиях можно определить легче, чем его ожидаемую скорость при ударе. Стандартная величина 25 м/с является более или менее максимальной скоростью обломков по наблюдениям Гербера [8] в Альпах. Это, в свою очередь, означает, что при определенной массе блока и максимально возможной скорости удара ожидаемая энергия удара всегда будет оценена с запасом.

Сертификация ►

Параллельно со стандартизацией процедур испытаний были введены сертификаты, подтверждающие способность барьера выдерживать ту или иную энергию удара.

Первое в своем роде руководство по тестированию противокаменных барьеров появилось в Швейцарии [7]. В нем были определены процедуры испытаний, при которых гибкий барьер крепится к вертикальной скальной поверхности, а испытательный блок падает на сетку вертикально. Это позволяло оценивать: способность ограждения выдерживать энергию ударов на максимальном и на эксплуатационном уровнях; нагрузки, действующие на анкерные крепления; тормозной путь; остаточную полезную высоту барьера; работу конструкции при небольших и средних камнепадах; необходимые мероприятия по техническому обслуживанию защитной системы.

Семь лет спустя в Европейском Союзе было принято руководство по техническому одобрению систем защиты от камнепадов ETAG 027 [9] со схемой оценок, аналогичной вышеупомянутому швейцарскому руководству.

Эти стандарты для сертификации все еще действуют и сегодня. Они были точно перенесены в последующий европейский оценочный документ EAD 340059-00-0106 [10], который заменил ETAG 027. Барьер, одобренный в соответствии с этими европейскими нормами, может иметь маркировку CE (например, [4, 11, 12]).

Такая сертификация является огромным преимуществом для общества. Заказчики обычно не знают точно, какие

нормы эксплуатации присущи той или иной системе защиты от камнепадов. А сертификат (в данном случае маркировка CE) не только свидетельствует о характеристиках системы, но и подразумевает постоянное отслеживание производителем качества ее работы. Это касается в основном двух аспектов:

- каждый производственный процесс четко описывается, чтобы гарантировать постоянное качество всех компонентов;
- в случае обнаружения какой-либо проблемы с качеством (например, неисправности отдельного компонента в полевых условиях) ее причину можно отследить до того момента (эксплуатации, технического обслуживания, монтажа или производства), когда произошла ошибка, – и тогда менеджеры по качеству могут принять необходимые меры как для текущего случая (заменить или даже отозвать продукт), так и для предотвращения такой ошибки в будущем.

Однако при вышеупомянутой замене ETAG 027 на EAD 340059-00-0106 в 2018 году все-таки были введены некоторые основные изменения: сегодня официальная европейская техническая оценка ETA (European Technical Assessment) только подтверждает, что защитный барьер соответствует основным параметрам в соответствии с так называемой декларацией характеристик качества (DoP – declaration of performance). Это имеет следующие последствия для тех, кто заказывает и использует гибкие противокаменные системы [4]:

- существует несколько европейских оценочных документов (EAD), в соответствии с которыми может быть сертифицирован продукт (это означает, что если кто-то приобрел оцененный барьер или барьер с маркировкой CE, то необходимо тщательно проверить, подходил ли EAD, лежавший в основе оценки, для использования в данном случае, поскольку простой проверки наличия на продукте действующей маркировки ETA или CE недостаточно);
- если маркировка ETA или CE относится к подходящему EAD, необходимо дополнительно проверить, указал ли производитель в своей декларации характеристик качества все основные показатели, перечисленные в EAD (следует отметить, что теоретически строительная продукция может быть успешно оценена, даже если производитель декларирует только некоторые из существенных характеристик).

В новом ETA в качестве основных характеристик перечислены только по-

лученные результаты испытаний (измеренные параметры). Необходимо также учитывать их применение для запланированных конструкций в конкретном месте, то есть получить ответы на следующие вопросы.

- Как в ETA определяется тормозной путь? Определяется ли он относительно положения на поверхности земли или на сетке? (Это влияет на точный выбор места размещения противокаменной системы.)

- Соответствует ли эталонный наклон защитной системы уклону склона, на котором она должна быть установлена? Если нет, то как, например, следует отрегулировать ее прогибы при ударах или тормозной путь?

- Могут ли быть особые случаи нагрузок (например, удары в крайние секции барьера), которые не оценивались?

- Успешно ли барьер удерживает мелкие падающие камни? (Это требует ограниченного размера ячеек сетки. Если максимальный размер отверстий поддерживается небольшим из-за наличия дополнительной второй сетки, известна ли ее удерживающая способность?)

Отметим, что фундамент и анкерные крепления противокаменной системы не охватываются ETA. Они должны быть разработаны отдельно на основе соответствующих руководств и стандартов.

Эксплуатационная надежность ►

Для решения всех этих вопросов некоторые страны (например, Австрия [13], Франция [14], Новая Зеландия [15]) опубликовали рекомендации по использованию сертифицированных противокаменных систем. Швейцария выбрала расширенный вариант с предусмотрением оценки барьеров в соответствии с дополнительными критериями [16]: предоставление субсидий Федеральной администрацией Швейцарии требует как оценки практической пригодности камнеулавливающих ограждений, так и анализа пригодности и экономической эффективности всего проекта по защите от камнепадов. В соответствии с этим Бауманн [16] сформулировал общеприменимые требования к обеспечению качества для всего проекта. Эти инструкции также определяют зоны ответственности поставщиков, властей (FOEN), инженеров, строительных компаний, заказчиков и эксплуатирующих организаций.

В дополнение к требованиям для одобрения противокаменных систем в соответствии с европейским руководством EOTA [10] результаты тестирова-

ния и, соответственно, качество эффективной работы испытанного барьера могут быть проверены с использованием различных критериев согласно работе Фольквейна и др. [4]. Эти инструкции для инженера-проектировщика содержат контрольный список минимально необходимых требований. На практике поставщик предоставляет всю документацию по испытаниям и продукту в независимый контрольный орган для оценки рабочих характеристик барьера. На основе установленных требований оцениваются (с помощью системы баллов) приоритетная производительность, адаптируемость, комплектность, монтируемость (рис. 1, а), критерии технического обслуживания, а также официальная документация. Если рекомендуемые минимальные требования соблюдены, барьер указывается на веб-сайте Федерального управления по охране окружающей среды Швейцарии (*англ.* FOEN, *нем.* BAFU) [17]. Это дает заказчикам, планировщикам, проектировщикам, подрядчикам строительных работ и эксплуатирующим организациям доступ к проверенной информации о продукте.

Методические инструкции и примеры расчетов для преобразования усилий в тросах противокаменной системы в стандартной ситуации, измеренных в процессе испытаний для сертификации, описаны Бауманном [16]. Поставщики предоставляют сведения об определенных при испытаниях эквивалентных статических нагрузках, которые, соответственно, могут быть сопоставлены с данными для продукции других производителей. Эта информация также является основой для проектирования анкерных креплений и фундаментов камнеулавливающих ограждений. Федеральное управление по охране окружающей среды Швейцарии [16] предоставляет планировщикам и проектировщикам рассчитанные на основе этих данных технические условия (спецификации) для работы с конкретными конструкциями, например для использования дополнительных стоек вместо боковых тросов (рис. 1, б).

Роли и обязанности в рамках проекта по защите от камнепадов были определены следующим образом. Планировщик проверяет применимость барьера. Инженер-проектировщик должен выполнить определение размеров фундаментов и анкеров на основе соответствующих усилий. Он также отвечает за определение пробных (испытываемых) и контрольных анкеров и за надзор за



Рис. 1. Противокаменный барьер, смонтированный в соответствии с четкими и простыми инструкциями (а); модификация крайней секции барьера без боковых анкеров, но с диагональной стойкой в качестве замены (б)

выполнением строительных работ. Для адаптации барьера к конкретным условиям инженер должен запросить дополнительную информацию и подтверждения у поставщика, если это необходимо. Подрядчик несет ответственность за проведение работ по бурению и инъектированию цементного раствора при устройстве грунтовых анкеров, за документирование хода и результатов этих работ, за проведение испытаний пробных анкеров, а также за профессиональную установку барьера. Заказчик (или его представитель) и/или эксплуатирующая организация отвечают за определение целей и пригодности планируемых защитных мер, требований к уровню защиты анкеровых креплений от коррозии, а также за техническое обслуживание и ремонт установленной противокаменной системы.

Дополнительные оценки качества и дополнительные практические рекомендации значительно повысили эксплуатационную пригодность камнеулавливающих ограждений, используемых в Швейцарии, по сравнению со странами, в которых отсутствует верифицированная информация о продукте от производителя. И это подтверждают многочисленные успешно реализованные проекты гибких противокаменных систем.

Адаптация стандартных барьеров к конкретным условиям ►

Гибкие системы защиты от камнепадов, как следует из их названия, хорошо подходят для адаптации к различным граничным условиям в разных местах их

установки, например для пересечения оврагов или для возведения без боковых анкерных креплений (см. рис. 1, б).

Однако должно быть ясно, что модификация конструкции барьера влияет на его характеристики. Но какие вариации приемлемы? Бауманн [16] предлагает некоторые стандартные решения относительно максимальной длины барьера и допустимых изменений продольного направления. Другие же адаптации должны проверяться в каждом конкретном случае.

Доступные на сегодняшний день численные методы моделирования противокаменных барьеров [18] легко допускают такие адаптации конструкций. Однако любое моделирование должно быть подкреплено (проверено) существующими результатами испытаний стандартной системы. После этого можно задокументировать влияние той или иной модификации в конструкциях защитной системы.

На рисунках 2 и 3 представлен следующий пример. Сертифицированный противокаменный барьер, изначально предназначенный для выдерживания энергии удара 2 000 кДж, был усилен так, чтобы также противостоять неглубоким оползням без изменений его динамического поведения при воздействии камнепадов.

Очень важно иметь в виду, что при оценке результатов моделирования можно довольно просто создать красивые изображения барьеров и анимационные ролики по их работе. Однако основная задача каждого моделирования заключается в прогнозировании

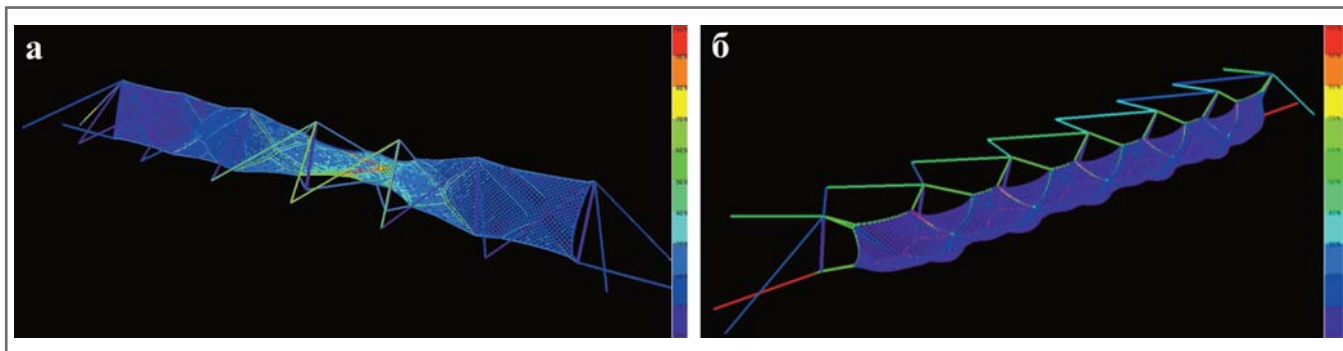


Рис. 2. Численная модель сертифицированной гибкой системы защиты от камнепадов (цветовая шкала показывает степень использования отдельных компонентов барьера: синий цвет – 0–10%, красный – 90–100%) (а); две объединенных модели, показывающие разные реакции барьера на разные типы нагрузок (камнепад в основном нагружает улавливающую часть ограждения, а неглубокий оползень нагружает тросы, натянутые от стоек вверх по склону, по всей длине барьера) (б)

предельной способности барьера выдерживать нагрузки от камнепадов.

Заключительные замечания ►

Рынок сейчас предлагает широкий выбор надежных гибких систем защиты от камнепадов [4]. Поэтому те, кто собирается использовать такие системы, просто должны решить, какие граничные условия необходимы для каждого конкретного участка. Это предполагает в том числе рассмотрение возможных препятствий на склоне, которые могут помешать бесперебойной работе защитной системы. Другим ключевым аспектом является ожидаемая энергия камнепада. Может быть, лучше не выбирать барьер с совпадением его максимальной «энергоемкости» и ожидаемой энергии камнепада. Вместо этого камнеулавливающее ограждение должно иметь эксплуатационную «энергоемкость», при которой не потребуются слишком большого технического обслуживания из-за камнепадов, типичных для конкретного участка. Кроме того, нужно понимать, находят ли ожидаемые нагрузки в пределах испытанного диапазона. Что происходит, например, при небольших и быстрых камнепадах [5]? Можно ли ожидать различные случаи нагрузок, как, например, показано на рисунках 2 и 3?

Еще одна интересная тема – долговечность (срок службы) барьера, особенно в отношении коррозии. Легко мо-



Рис. 3. Противокамнепадный барьер под воздействием снеговой нагрузки

гут пообещать пятьдесят лет или больше. Вопрос в том, будет ли производитель так долго заниматься этим же бизнесом, чтобы взять на себя ответственность в случае несвоевременного развития коррозии?

Если пользователь критически относится к барьерам и не просто принимает каждое предложение производителей как идеальное решение для любых конкретных условий (мест установки), он

может быть уверен, что надежный и правильно адаптированный барьер обезопасит его инфраструктуру и находящихся там людей на долгие годы.

И последнее, но не менее важное: хотелось бы надеяться, что рыночная конкуренция не только благоприятствует возможности приобрести наименее дорогие противокамнепадные системы, но и способствует повышению их качества. **И**

Источник для перевода ►

Volkwein A., Fulde M., Krieger Hauksson I. Trustworthiness of flexible rockfall protection systems // *Geosciences*. 2021. Vol. 11. № 197. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences11050197>. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3263/11/5/197>.

Список литературы, использованной авторами переведенной статьи ►

1. Duffy J., Glover J. A brief history of rockfall barrier testing // *Proceedings of the 6th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection “RocExs 2017”*, Barcelona, Spain, 22–24 May 2017.

2. Heiss C. Überlegungen zur Sicherung von Personen und Infrastrukturbauwerken Gegen Steinschlag imAlpinen Bereich Unter Besonderer Berücksichtigung Flexibler Steinschlagschutzsysteme – Modellierungflexibler Steinschlagschutzsysteme im Labormassstab zur Beurteilung Nichtgenormter Lastfalle: PhD thesis. Leoben, Austria: Montanuniversitat Leoben, 2017.
3. Volkwein A. Vergleich der Zulassung von Schutznetzen gegen Steinschlag nach CH- und EU-Richtlinie. Bern, Switzerland: FAN Agenda; Fachleute Naturgefahren Schweiz, 2012. P. 15–18.
4. Volkwein A., Gerber W., Klette J., Spescha G. Review of approval of flexible rockfall protection systems according to ETAG 027 // Geosciences. 2019. Vol. 9. №. 49.
5. Buzzi O., Leonarduzzi E., Krummenacher B., Volkwein A., Giacomini A. Performance of high strength rock fall meshes: effect of block size and mesh geometry. RMRE, 2015. Vol. 48. P. 1221–1231.
6. Wendeler C., Lanter A., Lu G., Caviezel A., Ringenbach A., Bartelt P. New rockfall testing method of flexible rockfall // Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019), Foz do Iguassu, Brazil, 13–18 September 2019.
7. Gerber W. Guideline for the approval of rockfall protection kits. Ittigen, Switzerland: Federal Office for the Environment (FOEN), 2001.
8. Gerber W. Geschwindigkeit und Energie aus der Analyse von Steinschlagspuren. OIAT, 2015. Vol. 160. P. 171–175.
9. Guideline for European Technical Approval of falling rock protection kits: ETAG 027, edition 2008, amended 2013. Brussels, Belgium: EOTA, 2008.
10. EAD 340059-00-0106. Falling rock protection kits. EOTA, 2018. URL: eota.eu/handlers/download.ashx?filename=cad-in-ojeu%2fead-340059-00-0106-ojeu2018.pdf.
11. Kohlmaier G. CE marking of falling rock protection kits based on the Construction Products Regulation (EU) №. 305/2011 // Proceedings of the 6th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection “RocExs 2017”, Barcelona, Spain, 22–24 May 2017.
12. Roduner A. Significance and advantage of EAD and CE Marking of geohazard products // GeoResources. 2019. Vol. 3.
13. ONR 24810. Technischer Steinschlagschutz – Begriffe, Einwirkungen, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Überwachung und Instandhaltung Vienna, Austria: Austrian Standards International, 2013.
14. Cerema. Dynamic rockfall barriers. Paris, France: Setra, 2014.
15. Rockfall – design considerations for passive protection structures. MBIE, 2016. URL: building.govt.nz/assets/Uploads/building-code-compliance/b-stability/b1-structure/rockfall-design-consideration/rockfall-designpassive-protection-structures.pdf.
16. Baumann R. Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung von Steinschlagschutznetzen und Deren Foundation. Federal Office for the Environment – FOEN, Umwelt-Wissen UW-1805-D, 2018. URL: bafu.admin.ch/uw-1805-d.
17. BAFU. 2019. URL: bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/umgang-mitnaturgefahren/naturgefahren-massnahmen/naturgefahren--technische-massnahmen/naturgefahren--typenpruefung.html.
18. Volkwein A. Providing perfect numerical simulations of flexible rockfall protection systems // Proceedings of the 9th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering (NUMGE 2018), Porto, Portugal, 25–27 June 2018. P. 885–892.

Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА. ОШИБКИ ЗАКАЗЧИКОВ, НОРМАТИВНАЯ БАЗА, ПОДХОДЫ К РАБОТЕ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

Вопрос обеспечения надежной инженерной защиты зданий и сооружений от опасных природных процессов в нашей стране стоит очень остро. Есть две основных проблемы: небольшое количество проектировщиков, специализирующихся на инженерной защите, и желание заказчиков сэкономить: когда в проект заложены материалы по одной спецификации, а по факту применены совсем иные «аналоги». Последняя проблема подкрепляется и российским законодательством – все материалы в проекте, защищаемом в экспертизе, обезличены, то есть убрано указание на производителя. Это позволяет строителю заменять материалы на «аналоги», которые хотя и должны быть схожими по своим характеристикам, в большинстве случаев гораздо менее долговечны и надежны.

Обо всем этом и не только мы поговорили с сотрудниками компании «Маккаферри Россия и СНГ» Алексеем Бутиным и Татьяной Васильевой.

Камнепады и оползни чуть ли не каждый день вредят российским дорогам, жилым зданиям и другим сооружениям. Как правило, обходится без человеческих жертв, однако затраты на ремонтно-восстановительные работы исчисляются сотнями миллионов, если не миллиардами рублей в год. И это не считая репутационного ущерба и убытков, связанных с простоем грузовых автомобилей и железнодорожных составов.

Лавины сходят гораздо реже, по крайней мере там, где об этом становится известно средствами массовой информации. Но при этом, если сходят – обычно приходится слышать не только о нанесенном ущербе, но и о человеческих жертвах.

Полностью защититься от этих опасных природных процессов объективно невозможно – слишком много дорог построено вблизи крутых горных массивов. Как правило, в первую очередь защищают самые опасные участки. Однако, к сожалению, часто даже если инженерная защита реализована, она не функционирует должным образом: выведена из строя первым же камнепадом, или еще не выведена, но не выдержит его и рухнет вместе с рушащимся склоном. К сожалению, это наша реальность, к которой привели некомпетентность некоторых разработчиков нормативных требований, жадность заказчиков и халатность исполнителей.

Как отмечает директор по качеству компании «ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ» Татьяна Васильева, до сих пор очень часто бывает так, что заказчики сначала обращаются к проверенному производителю, он готовит проект, но на этапе строительства по тем или иным причинам принимается решение о приобретении более дешевых аналогов. «Но я хочу напомнить, что расстояния между анкерами, крепления сеток, надежность прочих элементов, в том числе самих сеток на растяжение, в проекте заложены именно исходные, качество и свойства которых гарантированы и заложены в расчетные программы. И всегда при такой замене материалов заказчик получает в итоге решение по инженерной защите, которое выглядит, может быть и красиво, но работать не будет. Кроме того, надо понимать, что у каждого производителя есть свои технологические нюансы. Где-то лучше применить один материал, где-то – другой. Некоторые материалы используются в комплексе с другими, а некоторые наоборот нельзя комбинировать», - подчеркивает она.



Татьяна Васильева



Алексей Бутин

Сложности расчета ▶

Казалось бы, даже несмотря на названные выше проблемы, нет ничего сложного для грамотного специалиста в том, чтобы запроектировать надежную систему инженерной защиты, проследить за применяющимися материалами и процессом строительства. Однако это не совсем так. Нормативная база в этой сфере у нас еще недостаточно развитая, а расчетные программы разработаны производителями материалов. Соответственно, в программы заложены формулы и результаты натурных испытаний каждого конкретного материала или конкретной системы с их уникальными характеристиками. Если же проектировщик не обладает такими программами, то его работа становится гораздо сложнее.

Как считает ГИП компании «ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ» Алексей Бутин, это очень специфическое направление работы. Ориентируясь только на российские нормативные документы, проектировщики сталкиваются с необходимостью выполнения фактически ручного расчета. А для этого нужно очень хорошо понимать, как работает каждый элемент защитной конструкции. Далеко не все способны на это, даже если сами считают иначе. Именно поэтому так важно применять программы, которые есть в распоряжении производителей систем инженерной защиты – Маккаферри, Трумер, Геобрэгг и других. При этом надо понимать, что в каждую такую программу заложены характеристики конкретного материала конкретного производителя. Ее нельзя применить для расчета работы любой другой системы или другого материала.

«Каждый производитель систем инженерной защиты проектирует в своих

программных продуктах. Маккаферри не исключение. В частности, для расчетов применения систем Стилгрид разработан собственный программный комплекс, в который заложены расчетные характеристики и параметры материалов, которые производит компания Маккаферри, а также результаты проведенных натурных испытаний», - подчеркивает он.

Кроме того, добавляет Татьяна Васильева, специалисту, выполняющему расчеты сооружений инженерной защиты, требуется не только соответствующий опыт проектирования, но и обладание обширными знаниями на стыке геотехники и инженерной геологии. Наверное, большинству специалистов в области инженерной защиты известны имена Алексея Бершова, одного из ведущих специалистов-практиков в области инженерной геологии, или Сергея Мация – одного из ведущих проектировщиков в нашей сфере. Это люди, умеющие грамотно и эффективно решать поставленные инженерные задачи. «Компетенция специалиста очень влияет на конечный результат. Ни в какую программу нельзя просто подставить какие-то цифры и получить верный результат. Необходимо понимать все процессы», - заключает она.

Тонкости строительства ▶

В строительстве систем инженерной защиты также множество нюансов. И один из главных – это, пожалуй, качество применяемых материалов. Это особенно важно сейчас, когда многие каналы поставок из-за границы оказались перекрыты.

«Маккаферри» давно локализовала свое производство в России. В частно-

сти, у компании действует большой завод в городе Зарайск.

Проволоку для изготовления высокопрочной сетки закупают у сторонних поставщиков, выбор и работа с которыми – отдельная важная составляющая качества конечной продукции.

Оказывается, в России очень ограниченное количество заводов, которые в принципе работают с той проволокой, которая используется в качественных системах инженерной защиты, в том числе производства Маккаферри. Все дело в очень общих требованиях ГОСТ, который дает широкий диапазон характеристик конечной продукции. Однако, как отмечает Татьяна Васильева, отечественные производители чаще всего открыты для диалога, готовы к обучению и поэтому обычно удается прийти к решению, устраивающему обе стороны.

«У нас очень жесткие требования к проволоке и по прочности, и по удлинению. Поэтому мы работаем с российскими производителями, добываясь необходимого нам качества. Хорошим примером такой совместной работы я считаю внедрение в производство и, соответственно, на российский рынок цинк-алюминиевого покрытия Гальфан. Оно является долговечным и устойчивым к агрессивным средам. Для инженерной защиты это крайне важно. Мы давно продвигали его в нашей стране, но это было дорого и невыгодно, поскольку отсутствовал местный производитель.

Мы выбрали один из российских заводов, готовый к сотрудничеству, и далее работали с ним на всех этапах внедрения новой технологии – получали проволоку с этим покрытием, оценивали качество, указывали на проблемы и недостатки и предлагали пути решения», - говорит Т.Васильева.

Однако, мало произвести качественный материал. Нужно еще убедить заказчика его использовать, а не заменить на более дешевый аналог, который будет далеко не так надежен и долговечен. Между тем, к сожалению, многие производители и поставщики сетки двойного кручения, а также и конечные потребители, ориентируются только на цену. И это уже не проблема нормативных документов, а, наверное, относится к «чистоплотности» организаций, если можно так сказать. Потому что в данном случае цена очень сильно влияет на качество. И очень сложно предсказать, какой получится результат в случае применения дешевой проволоки.

«Надо понимать, что единственный стандарт, который есть на продукцию из



сетки двойного кручения, в том числе и на нашу противоклапывающую сетку Стиллрид, – это ГОСТ на сетку двойного кручения. Нормативы других государств на этот материал в России не утверждены. Работают только наши

собственные технические условия и стандарты организации. С 2018 года действует перевод EN – европейского стандарта на сетку двойного кручения для габионных конструкций. Но у него есть существенный недостаток – его пе-

реводили с немецкого оригинала и там есть и стилистические ошибки, и технические недочеты. Однако в целом он очень нужен и в техническом плане гораздо более продвинутый, чем документ, выпущенный в 2003 году. Причем сейчас такая уникальная ситуация у нас в стране, что действуют оба этих документа, что создает определенную путаницу и дополнительные сложности», - рассказывает Татьяна Васильева.

Еще одна сложность в том, что, как уже было сказано выше, иногда строительные работы ведутся с необоснованными сокращениями и модификациями.

А самое плохое в том, что ведущие государственные структуры признают результаты только тех испытаний, которые проведены в России. При этом на испытания у нас в стране нормативная база отсутствует. Также нет и соответствующего оборудования, методик и организаций, которые могли бы провести то или иное испытание, результаты которого могли бы быть заложены в том числе и в расчеты.

Заключение ▶

Итак, проблем в области инженерной защиты у нас в стране все еще достаточно много. Часть из них эффективно ре-

шается благодаря сотрудничеству с крупными зарубежными компаниями, у которых наработан многолетний опыт инженерной защиты, подкрепленный натурными испытаниями на специальных полигонах. Благодаря наличию у них специальных расчетных программных комплексов, заказчик получает надежное решение, которое будет эффективно работать долгие годы. И ему остается только сделать правильный выбор и в конце не дать слабину, поддавшись на соблазн заменить качественный материал на более дешевый аналог. **И**

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
будет выходить ежемесячно
в формате *PDF.**



WWW.GEOINFO.RU



МНЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕКТОРА: КАК БИЗНЕС РАБОТАЕТ В НОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ

СИЗОВА ГАЛИНА
Специалист по связям
с общественностью
ГК SMART ENGINEERS
g.sizova@smrte.ru

Новые экономические сложности стали очередным испытанием на прочность для всей строительной отрасли, показывая, кто может адаптироваться к новым реалиям, а кто вынужден сойти с дистанции. Как чувствуют себя участники инвестиционно-строительных проектов в настоящее время, с какими трудностями сталкиваются, какие пути решения видят и как в дальнейшем может развиваться строительный рынок, в интервью «Разговоры о текущей ситуации на рынке. Ваше мнение» рассказали девелоперы, генподрядчики, поставщики оборудования, технические заказчики и профильные консультанты – участники III Ежегодного отраслевого форума «Управление строительством в России. Современные практики и технологии», организованного инжиниринговой компанией SMART ENGINEERS при поддержке Минстроя России.

Режим работы в условиях кризиса – привычное положение дел для российских строителей. В условиях негативных экономических последствий, вызванных пандемией COVID-19, чтобы устоять и продолжить реализацию своих проектов, им уже тогда пришлось в короткие сроки перестроить свои внутренние процессы. «Предыдущие два года для нас были действительно напряженными, но они дали возможностькратно увеличить свои компетенции и определили новые пути для развития группы компаний», – рассказывает **Олег Малахов, председатель Совета директоров ГК «Праймкей»**. – Поэтому то, что произошло в феврале этого года, для нас не стало событием, которое перечеркнуло все предыдущие усилия. Наоборот, это стало новым вызовом для корректировки своей работы, взаимодействия с подрядчиками, поставщиками, заказчиками. Благодаря своей подготовке, нам удалось в кратчайшие сроки перестроить наши схемы, что позволяет сейчас продолжать эффективно работать. Пришло понимание, что необходимо перестраивать логистические цепочки, обрушения курса рубля не будет и проекты можно и нужно продолжать. На сегодняшний день я вижу, что основные игроки по каждому направлению – и в проектировании, и в строительстве, и девелоперы, и сами инвесторы – продолжают свои проекты и находят новые решения для того, чтобы даже в нынешних непростых условиях успешно завершать проекты, находить новые возможности для бизнеса. Сильные игроки станут еще сильнее – слабые игроки уйдут с рынка. Вот и все. Если ты не готов подстраиваться под те условия, которые есть сейчас, адаптироваться к ним, то, даже если тебя хватит на какой-то короткий промежуток времени, с течением этого времени ты обязательно уйдешь с рынка. Сейчас время сильных».

Рынок жилищного строительства Москвы ожидаемо вступил в период летнего затишья. «Застройщики с учетом различных факторов определяются со своей стратегией и теми объектами, которые планируют начать реализовывать в этом году», – сообщает **Павел Мельников, директор по развитию АО «СЗ «ЛСР.Недвижимость-М»**. – Существенное удорожание строительных работ и материалов, рост ставки, сокращение спроса со стороны населения оказывает негативное влияние на перспективы отрасли. Ожидаем реализацию мер поддержки в части субсидирования ипотеки и снижения ставки. В си-

лу инерции и длительного срока цикла строительного проекта ввод объектов в 2022 году сохранится на текущем уровне и достигнет плановых значений».

По оценке экспертов, на сегодняшний день самая большая трудность, с которой приходится сталкиваться и заказчикам, и генподрядчикам, – это непонимание того, как прогнозировать стоимость материалов и оборудования, особенно для долгосрочных проектов. «В данной экономической ситуации мы не можем определить твердую цену проекта, определить стоимость материалов, определить курс, и это для нас огромная проблема, потому что заказчик хочет понимать, сколько будут стоить те или иные материалы, а мы не можем дать ему однозначный ответ, сколько это будет стоить в конечном итоге», – отмечает **Срджан Петрович, президент «Строй Техно Инженеринг»**. – Одним из решений для продолжения реализации строительных проектов в текущих условиях может быть заключение договоров генподряда по принципу open book (*прим. на условиях компенсации затрат по строительству объекта и с уплатой вознаграждения генподрядчику за оказание генподрядных услуг и координацию работ*). С некоторыми заказчиками наша компания уже пробует работать по системе «открытой книги». В ней мы показываем заказчику все наши затраты – закупочный ценник, первичные документы, а с заказчиком заранее договариваемся, какое вознаграждение получаем и как мы закрываем/открываем внутренние затраты. Так заказчик понимает, как у него может измениться бюджет на проект, на сколько процентов изменится стоимость на каждый вид работы и на каждый вид материалов. Второе решение – это пробовать застраховываться с определенной шкалой увеличения сметы по договору, то есть предоставлять заказчику первичные документы – письма поставщиков, где отражено, что и на сколько подорожало. Соответственно после согласования с заказчиком стоимость проекта будет изменена, и такая коррекция цены возможна в течение самой стройки. На данный момент трудно четко сказать, какая из методик лучшая для подрядчика, потому что мы не знаем, будут ли новые санкции, будет ли уменьшение санкций, насколько долго продержится такой курс. Но мы рекомендуем использовать один из этих способов при подписании новых контрактов, так как это поможет сократить будущие риски. За-



Олег Малахов, председатель Совета директоров ГК «Праймкей»



Павел Мельников, директор по развитию АО «СЗ «ЛСР.Недвижимость-М»



Срджан Петрович, президент «Строй Техно Инженеринг»

казчик, конечно, хочет минимальной цены, а подрядчики хотят что-то заработать. Мы не видим, что в ближайший год или два будет какое-то одно решение, которым все будут довольны. Можно даже сказать так – все будут недовольны одинаково. В эти кризисные времена нашей отрасли очень тяжело: мало профессиональных кадров, отсутствие рабочей силы из-за зарубежья, уменьшились иностранные инвестиции. Поэтому возможно кто-то уйдет с рын-



Аблицева Алена, руководитель проекта
ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС»



Елена Колосова, директор по развитию
ООО «К4», вице-президент
Национальной палаты инженеров



Григорий Пегливанян, генеральный
директор ООО «ФПТ»

ка, кто-то перепрофилируется. Но мы надеемся, что все будет нормально, и рекомендуем учитывать все риски при планировании долгосрочных проектов».

«На текущий момент очень высокая турбулентность и заказчики не понимают целесообразность развития дальнейших проектов, – делится своим мнением **Аблицева Алена, руководитель проекта ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС»**. – Также заказчики сталкиваются с ситуацией, в которой они не могут планировать стоимость и сроки ввиду отсутствия различных поставщиков, оборудования, которое было заложено, не могут грамотно распоряжаться своими ресурсами. На сегодняшний день прошло еще слишком мало времени, чтобы делать какие-то выводы. По истечению 2–3 месяцев можно будет дать аналитику – сколько проектов приостановилось, сколько возобновилось и т.д. Этой аналитикой мы на данный момент занимаемся и сможем в ближайшее время ее представить».

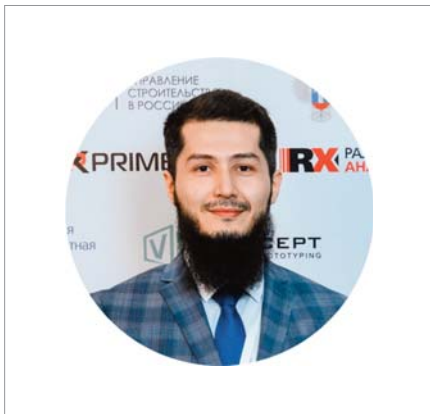
Осложняют реализацию инвестиционно-строительных проектов на данный момент также проблемы, связанные с импортным оборудованием. «Ни для кого не секрет, что наши промышленные стройки сильно связаны с импортным оборудованием. После начала специальной военной операции многие поставщики из недружественных стран отказались от поставок не только законтракованного, но даже оплаченного оборудования, ввиду чего многие стройки вынуждены были приостановиться, – подтверждает **Елена Колосова, директор по развитию ООО «К4», вице-президент Национальной палаты инженеров**. – Понятно, что на сегодняшний день это критично, но выход, безусловно, должен быть найден. Скорее всего, при-

дется сделать шаг назад, выбрать другое оборудование, частично перепроектировать объекты. Есть и еще одна проблема: многим хорошо известна ситуация с кранами большой грузоподъемности, которые в России вообще не производятся, но без которых трудно организовать строительство сложных промышленных объектов. Да, все вышеперечисленное задержит стройки: требуется согласованное перепланирование экономических показателей, сроков ввода мощностей, инвестиций. И это должно быть принято всеми. К сожалению, мы видим застройщиков, которыми текущая ситуация не воспринимается как форс-мажор, все финансовые риски они перекладывают на техзаказчика и строителей. Сегодня каждое предприятие ищет свое решение. Возможно, нужна специализированная площадка для обмена опытом в сфере закупок оборудования. На мой взгляд, сейчас самое главное – на всех уровнях не закрывать глаза, не пытаться приукрасить ситуацию, а объективно оценить «размер бедствия», выявить, что и в какие сроки можно преодолеть, а что – за пределами наших возможностей, и сконцентрировать усилия там, где можно действительно достичь результатов. Прогноз вряд ли кто-то может дать, но я не думаю, что ситуация стабилизируется раньше, чем через 2–3 года. Возможно, нужно проанализировать, что мы можем лучшего взять из советского опыта и просто применить его на практике с учетом встречной адаптации системы управления строительством и экономикой в целом, потому что ни в одной стране мира никто не смог повторить ту скорость строительства, которую показывал Советский Союз в период индустриализации

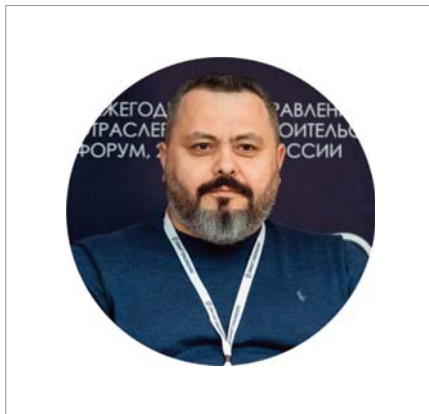
и восстановления страны после войны. А задачи сегодня у нас фактически те же».

Имеют место быть и проблемы с банковскими переводами за границу. «Сегодняшние санкции нам не дают правильно осуществлять финансовые платежи нашим партнерам, – соглашается **Григорий Пегливанян, генеральный директор ООО «ФПТ»**. – Несмотря на то, что мы работаем с Китаем, все равно есть проблемы с отправкой денежных средств для наших партнеров, и это, соответственно, ведет к увеличению сроков поставки технологического оборудования и отгрузки. Это все закладывается в себестоимость конечной продукции и естественно увеличивает капитальное вложение для заказчиков при реализации новых проектов. Думаю, должно немного пройти времени, ситуация должна устаканиться, должны появиться новые технические решения, появиться новые логистические цепочки, которые нам позволят восстановить те сроки. К деньгам мы, конечно, не вернемся, но хотя бы сможем восстановить те сроки, которые были до пандемии. Главное, чтобы ситуация стабилизировалась и на рынок пришла определенность, в которой предприниматель гораздо комфортнее себя чувствует, чем в крайних позициях, будь то положительных или отрицательных. Мы сейчас точно тренируемся жить в нестабильное время. Наш прогноз, что более-менее все должно выровняться к концу года и должны наступить некие новые реалии, в которых мы будем существовать».

Для принятия правильных управленческих решений нужна всесторонняя помощь и правильное взаимодействие всех участников рынка. «Ситуация нестабильная, ситуация, требующая очень



Вагиф Магеррамов, директор
Департамента управления
строительством ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС»



Дионис Васильев, управляющий партнер
«Русской экспертной группы»



Сергей Должников, генеральный
директор ЭКСИНКО

быстрых, четких, правильных управленческих решений, – подчеркивает **Вагиф Магеррамов, директор Департамента управления строительством ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС»**. – Поэтому на текущий момент мы бы рекомендовали всем нашим коллегам, партнерам максимально избирательно подходить к выбору своих контрагентов, максимально правильно начинать любую строительную деятельность, подготовив все необходимые технические процессы. В первую очередь, необходимо оптимизировать то, что сейчас есть: переработать текущее управление, текущую управленческую модель, разработать более понятные механизмы и регламенты, потому что очевидно, что стройка изменится. Заказчик должен четко понимать, что да, некие убытки, исходя из текущей ситуации, он, скорее всего, понесет. Но, чтобы эти убытки не были максимально непонятными, максимально неизвестными, убытками, о которых он узнает в последний момент, мы предлагаем настроить прозрачную модель управления строительством, предлагаем взять на себя функции контроля исполнения данной управленческой модели и, соответственно, физического контроля за фактически выполняемыми работами. Приведу пример. На одном нашем проекте уже была законтрактована слабочка (*прим. слабочные системы*), но она была законтрактована на немецком оборудовании, которое, к сожалению, уже быть поставлено в Россию не может. Мы сделали пересогласование на российскую модель, провели перепроектирование и, соответственно, заново получив проект, стали ставить российское оборудование. Кризисные времена в России не заканчиваются. Я думаю, что всем строителям, занятым в строительстве именно

крупных объектов, нужно быть готовым, что эта ситуация завтра не закончится. Поэтому история про прозрачность, про понятность, про управление рисками должна быть в России поставлена на конвейер».

«Я не скажу, что сейчас изменилось все, во-первых, стройка – это длительный процесс, – оценивает ситуацию на рынке **Дионис Васильев, управляющий партнер «Русской экспертной группы»**. – Да, безусловно, те проекты, к которым мы имеем отношение и которые только проектировались, притормозились практически все, поскольку инвестор не понимает, что происходит – ему легче поставить на паузу проекты, которые не строятся, но строящиеся проекты продолжают. Соответственно эффект от того, что произошло сравнительно недавно, мы с вами увидим в этом году. Мы не увидели паники, мы увидели желание, в том числе иностранных партнеров, разобраться в ситуации и найти способ работать. Я могу привести наши примеры: из 14 проектов, в которых так или иначе в какой-то из форм присутствуют наши иностранные партнеры – либо как заказчики, либо как проектировщики – практически все в течение первого месяца прислали письма о приостановке. Однако ситуация меняется и на данный момент половина проектов, а если быть точным – 8 (чуть больше 50%), либо полностью возобновили работу, или прислали письма, подтверждающие начало работ в ближайшее время. Соответственно, определенная ясность уже появилась. Мы находимся в фарватере того, что происходит в политической сфере, и какие-либо внутренние прогнозы изнутри рынка просто работать не будут. У нас есть только ответная реакция на происходящее. Соответственно хотелось бы поже-

лать нашим властям значительно жестче относиться к повышению стоимости строительных материалов и любых других работ. И хотелось бы пожелать, чтобы вот эта работа развивалась и усиливалась, потому что и с точки зрения потребителя бытового, и с точки зрения потребителя строительного материала эта ситуация резко негативная. А по всем остальным факторам надо держаться, нужно ценить коллектив, искать переговорную позицию. Мы благодарны нашим коллегам, партнерам, клиентам, потому что мы наблюдаем сейчас максимальную кооперацию».

«Какие-то отдельные проекты движутся, мы в них участвуем и, собственно говоря, находимся со всеми на одном поле – у всех одни проблемы, одни заботы и одни способы решения, как обойти те или иные трудности, связанные с поставками оборудования (а это влияет на сроки строительства), и, соответственно, как перестроить работу участников строительного процесса, – поддерживает дискуссию **Сергей Должников, генеральный директор ЭКСИНКО**. – Многие вещи, нельзя сказать, что они произошли неожиданно, но, тем не менее, болевые точки строительства в целом – это недостатки проектирования, недостатки планирования на долгий период, недостатки в логистике, связанные с поставками строительных материалов. Мы двигаемся, например, в рамках развития автоматизации внутренних процессов нашей компании, это связано и с информационным моделированием, и с повышением общего инженерного уровня, и с практической подготовкой наших инженеров. Не думаю, что эти направления чем-то отличаются от других участников рынка. Ориентироваться надо на собственные силы, на стремление к развитию».



Михаил Ермилов, партнер практики инжиниринг Strategy Partners



Константин Егоров, директор ООО «СтройКапиталКонсалтинг»



Хусейн Плиев, генеральный директор ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС»

Проекты госсектора сегодня также испытывают проблемы. «Никто не отменял госконтракты, никто не отменял сроки, ситуация сложная именно у подрядчика с точки зрения того, что он несет большие издержки и на те риски, на которые он подписывался, требуется пересмотр бюджета, – отмечает **Михаил Ермилов, партнер практики инжиниринг Strategy Partners.** – Никто не отменял Постановление Правительства касательно пересмотра максимальной стоимости госконтракта. То есть это возможно. Если говорить про инвестиционное строительство, то здесь все более-менее понятно. Основная проблема – бюджет и его рост. Ключевая ставка снизилась – рынок чуть-чуть ожил. Если она снизится еще, то рынок будет двигаться более активно. Вторая проблема – в том, что не все материалы доступны сейчас для нас, для российского рынка. Что-то возможно привезти в обход, с помощью третьих стран-посредников, но не всегда. Мы видим, что многие группы заказчиков уже подбирают аналоги на рынке Азии, что они активно рассматривают возможности замены материалов и оборудования европейского производства, они смотрят на то, что производится в России. Сейчас эти базы создаются. Приостановили свою реализацию пока проекты, которые были на стадии концепции, грубо говоря, где предпроектная проработка. Они все взяли паузу, практически все. Они ожидают, когда снизится ключевая ставка, когда выстроятся логистические цепочки, когда прояснится, что будет происходить с санкционными рисками. Проекты, которые на финишной прямой, они не приостановились, они завершаются. Грубо говоря, мы потом будем решать, как за это платить подрядчикам и откуда будут брать деньги заказчики. Те же проекты, которые еще

на стадии реализации, находятся, условно говоря, посередине, они также находятся в такой ситуации. Скажем, если это проект госзаказа, то он, конечно, движется. Если это проект частных инвестиций, если заказчик не видит санкционных рисков для срывов сроков и выполнения работ, он продолжается. Но если есть хотя бы малейшие подозрения, то, конечно, проекты ставят на паузу и вопрос о консервации сейчас остается на поверхности».


По оценке экспертов, любой кризис – это очередной вызов, проверка на прочность своего дела и рынка в целом. Здесь важна, прежде всего, гибкость мышления, поведения и коммуникации. «Адаптация» – самое правильное слово, которое подходит сейчас к подрядчикам, проектировщикам, в первый момент все замерли в ожидании, а что же будет происходить, – делится **Константин Егоров, директор ООО «СтройКапиталКонсалтинг».** – Сейчас все готовы подстраиваться под ситуацию, внимательно смотреть все гарантии, которые представляют власти, и работать с тем, что есть. Могу сказать, что у нас сейчас практически нет запросов на сопровождение строительства новых объектов, переговоров застройщиков, технических заказчиков, генеральных подрядчиков – люди обращаются за тем, чтобы изменить условия существующих контактов, ищут новые возможности, пересматривают цены, договариваются. Нам казалось, что будет большое количество конфликтов, но конфликтов не так много. Сегодня люди стараются друг с другом наладить взаимодействие, понимают, что конфликты невыгодны, гораздо выгоднее договариваться. Выстраивают отношения, пытаются жить в складывающихся условиях, какими сложными они не были бы. Мы пытаемся структурировать отношения таким образом, чтобы мак-

симально эффективно заказчик, генподрядчик, технический заказчик и проектант могли бы регулировать проблемы. Если говорить про прогноз на ближайшее будущее – все будет сильно неопределенно и меняться каждый день. Нужно быть готовыми адаптироваться к этой ситуации каждый день и быть готовыми учиться. Я думаю, что это главное, что сейчас нас держит не просто на плаву, а даст развитие».

«По нашим проектам мы можем отметить, что в текущей ситуации большинство заказчиков не спешат отменять свои инвестиционные программы, скорее, началась большая работа по пересмотру ключевых параметров проектов, включая технические решения, бюджеты и сроки реализации, – резюмирует **Хусейн Плиев, генеральный директор ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС».** – И что отрядно, заказчики начинают по-другому смотреть на организацию управления инвестиционно-строительными проектами, более важным становится обеспечение системности и эффективности в реализации проектов. Безусловно, в условиях такой турбулентности, ухода с российского рынка привычных поставщиков и производителей материалов и оборудования, нарушения логистических схем, продолжение строительства становится все более сложной задачей. Но то, что нам в довольно короткие сроки удается находить альтернативные решения, говорит о том, что рынок до конца года в целом сможет адаптироваться к новой «нормальности». И тут важно не просто восстановить прежние объемы строительства. Очень важно, причем как для заказчиков, так и для всех других ключевых участников строительного процесса, чтобы последние события стали уроком, чтобы мы научились работать и относиться к стройке иначе,

видеть и планировать весь жизненный цикл проекта, начиная от планирования и заканчивая эксплуатацией. В рамках прошедшего Форума мы ставили себе задачу донести до всех участников строительного процесса, что ключевыми условиями успеха любого инвестиционно-строительного проекта является, как бы банально это ни звучало, гра-

мотно выстроенное управление строительством и командная работа всех участников, а не наличие финансирования, правильно выбранных проектных решений или отсутствие замечаний со стороны строительного контроля. Именно эти два фактора являются фундаментом, на основе которого строится будущий успех любого инвестиционно-

го проекта, особенно в столь не простой период, который мы все с вами сейчас проходим. Текущее время стимулирует развитие собственных внутренних компетенций по управлению стройкой, по «выживаемости» в таких сложных условиях, стимулирует к повышению эффективности работы, эффективности управления планированием». 

Справочно: ►

III Ежегодный отраслевой форум «Управление строительством в России. Современные практики и технологии» является логичным продолжением ежегодных мероприятий, организуемых Центром компетенций в строительстве ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС» с 2018 г. Особенностью Форума стал фокус на роли заказчика в управлении инвестиционно-строительным проектом, а также роли и месте института независимого технического заказчика. На Форуме обсуждались проблемы основных участников процесса строительства в текущих кризисных условиях, особенности реализации инвестиционных проектов, строительные риски, рассмотрены наиболее эффективные организационно-управленческие и цифровые решения на примере реальных кейсов.

Организатор форума – ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС» при поддержке Минстроя России. Генеральный информационный партнер Форума – ИД «Коммерсантъ».

Генеральный информационный партнер Форума – ИД «Коммерсантъ».

Генеральный партнер: ГК «ПРАЙМКЕЙ».

Стратегические партнеры: «Цифровые решения в строительстве», «Строй Техно Инженеринг».

Партнеры: «Русская экспертная группа», «Матрикс».

Деловые партнеры: Ассоциация «Национальное объединение организаций в сфере технологий информационного моделирования» (НОТИМ), Национальное объединение «Технологических и ценовых аудиторов» (НО ТЦА), Рейтинговое агентство RAEX («РАЭКС-Аналитика»), НП «Российская гильдия управляющих и девелоперов» (РГУД), Ассоциация индустриальных парков России (АИП России), «Национальное объединение специалистов по безопасности бизнеса», Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС), «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Государственный университет управления (ГУУ), Фирма «IC».

Информационные партнеры: отраслевой журнал «Вестник», портал DigitalDeveloper, интернет портал «Строительный эксперт», газета профессионального сообщества изыскателей России «Вестник инженерных изысканий», федеральное отраслевое издание «Российский строительный комплекс», информационно-аналитический портал «Арендатор.ру», «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал», информационно-рекламное издание «Техсовет», Новостной портал «ASN-info», научно-технический журнал «Инженерные системы», всероссийский отраслевой журнал «Строительная Орбита», издательство «АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД», журнал «Дороги. Инновации в строительстве», журнал «Вестник государственной экспертизы», информационно-торговая система «Сделано в России», сетевое издание «GR News», ГБУ «Мосстройинформ», издательство «Композит XXI век», международный промышленный портал «ПВ.РФ», независимый электронный журнал «ГеоИнфо», научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство», журнал «Строительные материалы», журнал «Жилищное строительство», отраслевое издание «Строительная газета», отраслевой журнал «Строительство», Агентство Новостей «Строительный Бизнес», Международный выставочный портал ExpoClub.ru.

Telegram-канал журнала

Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения



НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ — ШАНС НА РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА

СИЗОВА ГАЛИНА

Специалист по связям
с общественностью
ГК SMART ENGINEERS
g.sizova@smrte.ru

Новая экономическая реальность и связанные с ней турбулентные процессы, происходящие в российской строительной отрасли, оказывают существенное влияние на подрядные, проектные и инженеринговые компании. С одной стороны, приостановка ряда инвестиционно-строительных проектов в коммерческом секторе может привести к сокращению рынка и, как следствие, уходу компаний. С другой стороны, для компаний, которые смогут адаптироваться к новой реальности, текущая ситуация — шанс выйти на принципиально новый уровень в своем развитии. Своим мнением поделились Алексей Никитин, Председатель Совета директоров ГК «СМАРТ ИНЖИНИРС», и Олег Малахов, Председатель Совета директоров ГК «ПРАЙМКЕЙ».

Прошедшее десятилетие — период большой промышленной стройки и развития отрасли промышленного строительства, во многом утраченной после перехода страны на рыночную экономику. В СССР строили много — промышленное строительство развивалось гораздо лучше гражданского, волны индустриализации, освоения новых производств и «суперпроекты», которые реализовывал Советский Союз, оказывали влияние на всю систему организации промышленного строительства. Были собраны все необходимые компетенции: НИОКР, проектирование, строительско-монтажные и пуско-наладочные работы. После развала СССР единых комплексов практически не осталось, все было приватизировано по частям, а затем или обанкрочено, распродано (читай — уничтожено), или выродилось в небольшие строительные компании с практически полной потерей прошлых компетенций. Исключениями из этого списка стали некоторые отрасли, в которых наличие собственных проектно-строительных мощностей было критическим: атомная промышленность, газонефтехимия, металлургия, энергетика. Остальным отраслям повезло меньше, и первый после трансформационных девяностых строительный бум нулевых годов реализовывали уже в большинстве своем иностранные строительные и инженеринговые компании. Последующее десятилетие промышленного развития России и приход иностранных инвесторов только укрепили этот тренд.

Следует сказать, что иностранные инвесторы работают по отработанной схеме, которая для них наиболее удобна, — свое проектирование, желательнее свои строители и консультанты. Именно таким образом в Россию пришли и прочно закрепились иностранные консалтинговые компании в области строительного инженеринга. Что и говорить, даже не смотря на то, что российская отрасль строительного консалтинга активно развивалась, доступ к сложным проектам был всегда ограничен по разным причинам: или там уже были иностранцы, или российский менеджмент принципиально не хотел российский консалтинг, порой выбирая более дорогой, красивый, не факт, что технически более грамотный, но все равно иностранный. Безусловно, не стоит говорить про весь рынок, на котором кому-то повезло больше, а кому-то меньше, но, в целом, в том, что консалтинговых компетенций в части разнообразия



Фото: Алексей Никитин, Форум Управление строительством в России

опыта у отечественных компаний меньше, согласятся все участники рынка.

Заказчики должны поддержать российское ▶

Полный или частичный уход с российского рынка ряда иностранных игроков создает «окно возможностей» для отечественных компаний, особенно для тех, которые за последнее время сильно продвинулись в наращивании своих компетенций в реализации промышленных проектов по схеме EPC во всех его разнообразных вариациях (необходимо отметить, что со времен большого энергетического строительства, после реформы РАО ЕЭС, полноценные EPC-компании в России так и не прижились). Говоря о компетенциях, стоит упомянуть и о трансфере управленческих технологий и стандартов, по которым некоторые заказчики горюют после ухода или переименования некоторых иностранных игроков. На наш взгляд, за прошедшие 10 лет этот трансфер уже состоялся и даже приобрел свои черты, более адаптированные под российские реалии. Здесь сработал закон естественного отбора — нужное осталось, а ненужное или чрезмерно раздутое и вздвинутое в моменте в ранг обязательного джентельменского набора ушло.

Реальность сегодняшнего дня такова, что отечественный инвестор и отечественные же строительные и инженеринговые компании остались на рынке наедине друг с другом, и как бы кому-то ни хотелось громких иностранных брендовых имен, брак даже не по любви, а по расчету все равно должен состояться. Но на этот раз расчет должен

быть очень «хозяйским», потому что на своем рынке отечественные компании должны не только развивать свои компетенции, но и избавиться от всех «детских болезней», вырасти (и даже в некоторых случаях переродиться) в серьезных строительных и инженеринговых игроков, а заказчик (инвестор) — изжить у себя моду на «хруст французской булки» и снизить, особенно на уровне среднего менеджмента, до нормального рабочего общения с их же российскими коллегами в строительной отрасли, прощая порой не такую подачу и не такой лоск отечественных компаний.

Новые тенденции строительного рынка ▶

Работы для обеих сторон предстоит поистине много. Здесь и перенастройка логистики, поиск и перепроектирование технологических решений с новыми вендорами, пересмотр графиков производства работ, и создание компетенций по монтажу и пуско-наладке, пересчет финансовых моделей. Эту работу предстоит делать вместе, а не так, как было раньше, по принципам «каждый за себя» и «спасение утопающих дело рук самих утопающих». Результаты такой политики, в том числе со стороны заказчика, — сокращение рынка подрядчиков и после этого удивление от констатации того факта, что строить почему-то некому и нет способности найти подходящую компанию для реализации проекта в диапазоне 1,5—2,5 млрд рублей.

Важным моментом, характеризующим развитие проектно-строительной отрасли нашей страны, стоит считать выбор ведущих отечественных компа-



Фото: Никитин Алексей, Олег Малахов, Форум Управление строительством в России



Олег Малахов, Форум Управление строительством в России

ний формата открытой конкуренции с зарубежными коллегами путем динамичного обучения сотрудников и повышения набора собственных компетенций. Сотни миллионов рублей вкладываются во внедрение современных технологий (BIM, ТИМ и т.д.), ведется разработка собственных программных продуктов, позволяющих и существенно повысить качество проектной/исполнительной документации, и снизить влияние человеческого фактора. Благодаря этим инвестициям сейчас можно смело говорить о том, что уровень отечественного инжиниринга, особенно промышленного, ничем не уступает европейским конкурентам. Не менее важно и существенное развитие отечественных производств материалов и компонентов. Готовить специалистов при непосредственной возможности обучения на конкретном оборудовании и материалах, производимых в нашей

стране, получается значительно эффективнее.

Еще одной важной тенденцией, определяющей текущую ситуацию в строительной отрасли, стало возвращение к формату взаимодействия «заказчик/инвестор – EPC-контрактор». Но связано это не только с тем, что заказчику так проще взаимодействовать с единым ответственным за проект лицом. Количество специалистов, например технологов, еще недостаточно для полноценного комплектования и всех проектных команд, и строительных, и снабжающих организаций. Поэтому, оптимизируя свой штат и обеспечивая всю полноту необходимых компетенций, EPC-контрактор имеет возможность выстроить весь процесс создания нового объекта в едином формате с надлежащим контролем выполнения каждого этапа. Все-таки специфика промышленного строительства оказывает существенное влия-

ние на возможность создания высококонкурентного рынка. В нашей стране скорее наблюдается формирование пула узкоспециализированных компаний, работающих в определенных отраслях промышленности (фармацевтика, нефтегазовая промышленность и т.д.). Возможно, по мере повышения обеспеченности отраслей молодыми специалистами конкуренция увеличится, но пока такой тенденции нет.

На что надеяться ►

Надежду и веру в то, что все будет хорошо в российском промышленном строительстве, создают ряд факторов, среди которых повышенное внимание государства к этой проблематике. Еще более года назад тогда замминистра строительства и ЖКХ РФ Дмитрий Волков отмечал, что «доля промышленного строительства в настоящее время составляет 65% от всего строительного рынка России, при этом отрасль переживает обновление и трансформацию. Активное развитие сферы промышленного строительства показало необходимость внедрения новых решений и технологий».

Сам факт развития промышленной стройки в свою очередь не только дает драйвер к развитию организационно-управленческих технологий в строительной сфере (строительный инжиниринг), но и открывает дорогу для широкомасштабного применения цифровых технологий в строительстве.

Правительство в свою очередь также подготовило ряд мер, направленных на сокращение инвестиционного строительного цикла, среди которых упрощение порядка согласования и утверждения изменений в части сроков действия документации по планировке территорий, выдачи разрешений на строительство и на ввод в эксплуатацию, упрощение конкурсных процедур и предоставление возможности вносить изменения в государственные и муниципальные контракты, ускорение процесса оформления разрешительной документации на строительство — не менее чем на полгода, сокращение сроков предоставления участков под строительство, промышленная ипотека, упрощение процедуры экспертизы проектной документации.

Если все эти меры правильно работают, а российские инвесторы с помощью отечественных инжиниринговых компаний смогут перепроектировать технологические процессы в новых проектах, то оживление рынка промышленного строительства может произойти уже до конца текущего года. И



Авторам электронного журнала «ГеоИнфо»

Журнал «ГеоИнфо» – это независимое электронное издание. Мы готовы предоставлять площадку для выступления любому автору, если материал кажется нам интересным и важным для профессионального сообщества.

Мы не рецензируем каждую статью, что позволяет нам размещать самые разные точки зрения, даже если они не вполне соответствуют общепринятым концепциям и теориям. Вместе с тем, мы оставляем за собой право привлекать при подготовке статей к публикации независимых экспертов. Их мнение может быть опубликовано вместе со статьей по усмотрению главного редактора.

Каждый желающий в комментариях к статье может поддержать автора или высказать аргументы в пользу противоположной точки зрения. Для этого необходимо зарегистрироваться.

Требования к оформлению:

Каждая статья, присланная для публикации в журнале «ГеоИнфо», должна сопровождаться аннотацией, заглавной горизонтальной картинкой высокого качества (не менее 300 dpi), портретной фотографией и краткой биографией автора с контактными данными.

Стиль изложения – литературный.

Автор по своему желанию может дополнить статью ее английской версией или переводом ревью для англоязычной версии сайта.

Темы для статей – широкий круг проблем, актуальных в повседневной жизни руководителей изыскательских компаний и инженеров. Наша основная специализация – опыт практиков для практиков.

Высылайте Ваши статьи на электронную почту info@geoinfo.ru.

Мы будем рады сотрудничеству!



КАК ДРОНЫ ПОКАЗЫВАЮТ ВЫСШИЙ БЕСПИЛОТАЖ В ИЗЫСКАНИЯХ

АРТУР ХАСИЯТУЛЛИН
Региональный директор TraceAir
в России

Согласно исследованию НИУ ВШЭ, беспилотники вошли в число наиболее перспективных цифровых технологий сегмента транспорта и логистики для коммерческого использования (наряду с электрокарами и беспилотными автомобилями). В строительной отрасли БПЛА эффективно используются на всех этапах работ. О том, как они успешно зарекомендовали себя на этапе инженерных изысканий, расскажем в статье.

Дроны — не игрушки, а эффективный инструмент изысканий ▶

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на сегодняшний день возможно при выполнении практически всех видов инженерных изысканий. И, безусловно, эта технология значительно облегчает и ускоряет многие работы. В конце статьи рассмотрим ценовой аспект применения дронов, но сначала продемонстрируем все их возможности для изыскателей.

Предпроектные исследования ▶

Прежде чем начать проектирование и строительство любого объекта, заказчику необходимо выбрать и оценить территории, на которых планируется развернуть работы. Для этого заказчик проводит два вида работ: исследование инвестиционной привлекательности (о нем мы расскажем чуть дальше) и предпроектные исследования.

Чтобы провести предпроектные исследования и рекогносцировку объекта, особенно большой площади, компаниям приходится тратить время и ресурсы (например, топливо) только ради того, чтобы узнать реальное состояние площадей исследования, подъездных дорог и других прилегающих территорий. Благодаря беспилотникам провести исследование можно в несколько раз быстрее и получить актуальные и точные данные. А по полученным с беспилотника данным можно эффективно строить стратегию любых дальнейших изысканий.

Экологические исследования ▶

В сфере экологических изысканий беспилотники помогают собрать данные о состоянии природной среды и ландшафтов в целом, наличии особых экосистем, а дроны с тепловизором помогают определить также экологические опасности, например, наличие вредных стоков, утечку газа из газопроводов, обнаруживать очаги возгорания. Также дроны помогают планировать и проводить работы по рекультивации земель.

Топографические работы ▶

Топографическая съемка с помощью беспилотника значительно быстрее и эффективнее традиционных геодезических методов. При традиционном подходе только непосредственная полевая работа занимает не менее двух недель, а то и больше, в зависимости от площа-

ди объекта. Прибавьте сюда неделю камеральных работ, а также пару дней возможной плохой погоды, и вы получите почти 4 недели для топосъемки одного небольшого объекта. Беспилотник решает данный цикл задач не за 3-4 недели, а за 2-4 дня. При этом получается отличное изображение высокого разрешения, а также точная цифровая модель местности, которая охватывает не только те места, куда смогли пойти геодезисты, но и области, куда пойти физически невозможно, например, болота, ледники, участки с поваленными деревьями и прочие.

То же самое касается подеревной съемки. В нашей практике был отличный кейс, когда один из наших клиентов - ООО «Жилой микрорайон» - попросил нас посчитать деревья на довольно большой территории за 3 дня, потому что через 3 дня им нужно было вырубать эти деревья для прокладки газопровода и, соответственно, платить за вырубку. Даже несколько геодезистов не справились бы с таким объемом за 3 дня, а мы облетели территорию на беспилотном самолете и по полученным данным посчитали деревья прямо из офиса.

По съемке с беспилотника также можно проверить соблюдение кадастровых границ и не допустить их возможного нарушения.

Инженерно-геологические изыскания ▶

В геологическом направлении дроны зарекомендовали себя прежде всего для геологоразведки. Метод аэрогеологической съемки наиболее эффективен, потому что многие потенциально привлекательные для разведки территории на-



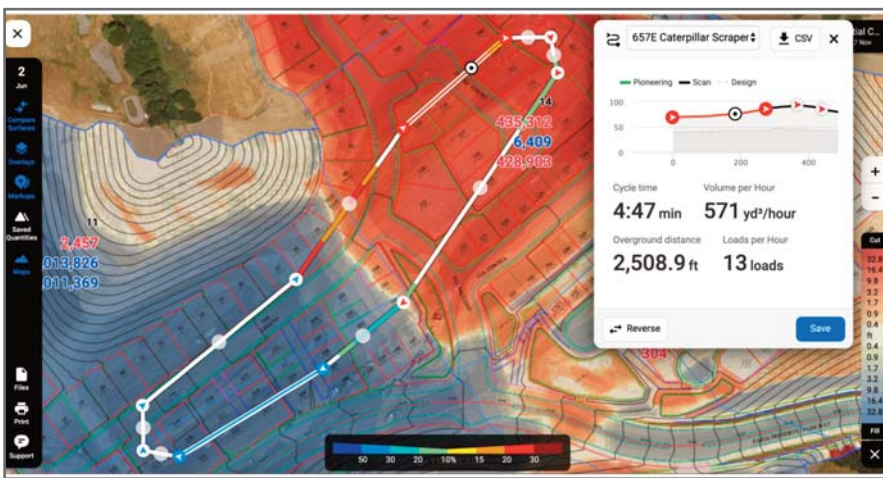
Артур Хасиятуллин

ходятся в труднодоступных местах (например, на арктических территориях). По сравнению с буровыми и сейсмическими способами разведки съемка с дронов значительно быстрее и дешевле.

Метод аэрофотосъемки позволяет исследовать все особенности геологического строения территории любой сложности (в том числе произвести съемку на низкой высоте с огибанием рельефа), оценить площади залегания полезных ископаемых, особенности грунта.

Также беспилотники могут быть оснащены приборами для проведения магниторазведки, что позволяет произвести съемку магнитного поля с высокой точностью в короткие сроки. При этом, в отличие от стандартного способа магнитометрической съемки, дрон может делать 10-15 вылетов в день и обследовать до 200 км территории, нужно только вовремя менять аккумуляторы.





Особые преимущества БПЛА для изысканий ▶

1) ускорение и снижение стоимости изыскательских работ

Дрон остается самым быстрым и бюджетным беспилотным сканером пространства с воздуха. Он позволяет получать высококачественные изображения конкретных объектов или территорий.

Если объект достаточно большой и на изыскательские работы на нем потребуется не один месяц, часть данных может устареть просто за время работы. Чего никогда не произойдет с БПЛА, потому что данные с него можно смотреть и использовать уже через 2-3 дня после съемки. А при съемке небольшого объекта, например, 100 га, цифровую модель местности и общий план территории можно получить в тот же день.

Застройщик Capital Group использует дроны при оценке инвестиционной привлекательности для различных территорий будущего строительства. По-

добная альтернатива геодезической съемке сокращает время изысканий – один день вместо 30 дней – и оптимизирует затраты на ФОТ.

Экономится не только время. Для Capital Group экономия финансов составила до 1,8 млн рублей за один объект. Соответственно, систематическое использование аэрофотосъемки на десятках потенциальных территорий способно экономить застройщику 30-40 млн рублей за год.

2) возможность исследований в сложных условиях

Дроны способны работать в условиях низких температур (до -30°C), а также в местах с ограниченным или трудным доступом для персонала.

Например, дроны используют геофизики АО «Апатит» для магниторазведки территорий арктического региона.

Также при разведке месторождений полезных ископаемых на горно-обогатительных комбинатах (ГОКах) маркшейдерам приходится находиться в опасной близости с крупной карьерной

техникой. Руда, выпавшая из кузова Белазы, может повредить маркшейдера. А шины автотранспортной техники, особенно грузовой, находятся под высоким давлением, создавая риски взрыва при неправильной их эксплуатации. Несчастные случаи на ГОКах могут происходить также с неопытными практикантами. Выполняя съемку с дрона и считая объем породы по данным с БПЛА, мы сокращаем необходимость нахождения сотрудников в карьере.

Как организовать аэромониторинг на объекте ▶

Организовать аэромониторинг на объекте несложно, однако нюансов много. Нужно найти оборудование, подходящее для текущих задач, а также обучить пилота. В то же время нужно убедиться, что объект находится в зоне, разрешенной для полетов.

При самостоятельной организации аэромониторинга стоит учитывать следующие расходы:

- Дрон – от 230 000 рублей за DJI Phantom* 4 PRO до 2 402 500 за Геоскан 201 Геодезия),

*Цена указана за приобретение в Казахстане, в условиях ухода компании DJI из России;

- Инженер/пилот – от 50 000 до 150 000 рублей в месяц,

- Программное обеспечение для фотограмметрии (например, Pix4D) – от 291 доллара в месяц (22 000 рублей),

- Полис страхования гражданской ответственности – от 15 000 до 100 000 за дрон в год,

- Обучение пилота – 15 000 – 40 000 рублей*;

*за 5-10 дней в ЦДПО,

– Инженер/обработка данных – от 65 000 до 140 000 рублей в месяц,

– Устранение проблем с программным обеспечением, оборудованием и воздушным пространством – от 60 000 до 200 000 рублей в месяц.

Подобный перечень расходов может сразу оттолкнуть компанию, задумавшуюся о своем парке БПЛА, например, застройщика или подрядчиков по строительству. Однако день простоя крупного объекта в строительстве составляет около 10 млн рублей. Поэтому застройщики предпочитают всё же делать мониторинг и обращаются к подрядчикам по запуску БПЛА, тестируя технологию аэромониторинга в режиме “пилотного проекта”. Весь технологический мир развивается по принципу шеринговой экономики: за небольшую цену подписки клиент получает съемку и самую современную IT-инфраструктуру. Изыскательские компании предпочитают также заказывать съемку с БПЛА, потому что она существенно экономит время, а, соответственно, и деньги.

Просмотр и анализ результатов изысканий - специализированное ПО для визуализации съемок с БПЛА ►

Результаты изысканий с беспилотника можно просматривать в стандартных программах, которые обычно есть у ИТР, например, Автокад или Credo. Однако существуют более простые интерфейсы, с помощью которых просмотр данных о площадке доступен сотруднику с любым уровнем владения компьютером, а осуществление любых измерений и анализ состояния территории можно выполнить с помощью нескольких щелчков мышки.

Например, в современных веб-платформах, созданных для просмотра результатов аэромониторинга, есть такие функции, как:

- просмотр результатов изысканий в удобной форме (топографические планы и ЦММ, подеревная съемка, геологические планы и разрезы по скважинам),
- сравнение съемки с проектной моделью, сравнение съемки с проектными планами, динамическая картограмма земляных масс (изменяющаяся по данным каждой съемки),
- сравнение съемки с цифровой моделью объекта (BIM-моделью),
- расчет объемов работ по расчистке территории от растительности, снятию плодородного слоя и других работ по подготовке территории.



И это не говоря об обычных инструментах измерения, снятия высот и просмотра съемки.

То есть вы получаете полный массив данных и удобные инструменты для контроля и анализа этих данных.

Заключение ►

Беспилотные технологии сегодня – это уже не будущее, а настоящее. Они прочно вошли в технологические процессы компаний различной направленности: от агропромышленных комплексов до строительных гигантов.

Чаще всего беспилотники применяются для обследований больших участков в короткие сроки. При этом при-

менение дронов экономит не только время, но и финансы.

Дронам доступно многое: и различные виды изысканий, и агромониторинг, и мониторинг состояния магистральных газопроводов, линий электропередач, мониторинг состояния строительства.

В ряде крупных мировых компаний есть тенденция на создание своих беспилотных комплексов, несмотря на стоимость работ по покупке и настройке оборудования и обеспечению их работы и обучения и работы пилотов. Но в России это пока развито слабо.

Надеемся, что наша деятельность подтолкнет распространение полезной и нужной технологии аэромониторинга. **И**

«ГеоИнфо» 07-2022
подписан в печать
31.07.2022

АНАНКО Виктор Николаевич
Главный редактор журнала «ГеоИнфо»

БЕРШОВ Алексей Викторович
Генеральный директор
ГК «Петромоделинг», ассистент кафедры Инженерной
и экологической геологии Геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова

ГИЗЗАТУЛЛИН Рушан Рафаэлевич
Инженер-геотехник
ООО «НИП-Информатика»

ЖИДКОВ Роман Юрьевич
Начальник группы разработки программного
обеспечения по геологии
ГБУ «Мосгоргеотрест», к.г.-м.н.

ИСАЕВ Владислав Сергеевич
Старший научный сотрудник кафедры геоэкологии
геологического факультета МГУ, к.г.-м.н.

ЛАТЫПОВ Айрат Исламгалиевич
Руководитель Лаборатории по исследованию грунтов в строительстве,
доцент по специальности «Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение», член национального реестра специалистов в области
строительства, эксперт Министерства экологии и природных ресурсов
Республики Татарстан, к.т.н.

МАШТАКОВ Александр Сергеевич
Главный специалист ООО Арктический научный центр (Роснефть),
руководитель Волгоградского отделения Общественной организации
Российское геологическое общество, эксперт Российского газового
общества, к.г.-м.н.

МИРНЫЙ Анатолий Юрьевич
Старший научный сотрудник Геологического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова, руководитель проекта
«Независимая геотехника», к.т.н.

ПИОРО Екатерина Владимировна
Генеральный директор
ООО «Петромоделинг Лаб», к.г.-м.н.

СУДАКОВА Мария Сергеевна
Старший преподаватель кафедры сейсмометрии и геоакустики
геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, Научный
сотрудник института Криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, к.ф.-м.н.

СЛОБОДЯН Владимир Юрьевич
Генеральный директор
АО «Институт экологического проектирования и изысканий»
(АО «ИЭПИ»)

ФЕДОРЕНКО Евгений Владимирович
Научный консультант
ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.