



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ



Генеральные спонсоры конференции

21-22 МАРТА / 18

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
«ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА
ТЕРРИТОРИЙ, ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ»

Место проведения:

Сочи, «Маринс Парк Отель», пер. Морской, 2

www.fc-union.com



- 4 Инженерная защита территории. Комплексные проектные решения**
ООО «ГЕОИЗОЛ» Богданов И.С., главный конструктор
- 11 Стабилизация выветрелых оползневых склонов инъекционными методами**
Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Кафедра инженерной и экологической геологии — лаборатория инженерной
геодинамики и обоснования инженерной защиты территорий
Зеркаль О.В., к.г.-м.н.
Пономарев А.А., аспирант
Кафедра инженерной и экологической геологии — лаборатория грунтоведения
и технической мелиорации грунтов
Самарин Е.Н., к.г.-м.н.
Кравченко Н.С., аспирант

ООО «Инжзащита»
Пономарев А.А., заместитель директора по научным вопросам
- 15 Инженерные методы повышения устойчивости склонов в сейсмически
опасных районах**
«АО «КазНИИСА
Хомяков В.А., главный специалист, д.т.н.
Жамек Н., ведущий инженер
Еменов Ю.М., инженер
- 20 Геотехнический мониторинг как основа прогнозирования технического состояния
обделки при эксплуатации транспортных тоннелей**
ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»
Лебедев М. О., заместитель генерального директора по НИР, к.т.н.
Безродный К. П., советник генерального директора по НИР, д.т.н.
- 25 Изучение геологического строения массива горных пород, для оценки
инженерно-геологических условий строительства нового байкальского
тоннеля трассы БАМ**
ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»
Арнаутов А. И., к.г.-м.н., доцент, начальник геологического отдела
Штыров В. Г., к.г.-м.н., главный специалист геологического отдела
- 32 Использование щебеночных и песчаных свай для усиления слабых грунтов
основания транспортных сооружений**
ООО «ГЕОИЗОЛ»
Долгов П.Г., начальник геотехнического отдела
Betterground GmbH
Деген Уильем
- 35 Технические особенности систем инженерной защиты от камнепадов и лавин
компания Маккаферри**
ООО «Габиионы Маккаферри СНГ»
Горбачева Т.М., руководитель направления «Инженерная защита от камнепадов, лавин и селей»



- 40 Современное состояние проблемы определения параметров грунта при инженерно-геологических изысканиях для математического расчета оснований зданий и сооружений в условиях плотной застройки (на примере г. Москвы)**
Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ РГГРУ)
Кулешов А.П., аспирант кафедры инженерной геологии
Горобцов Д.Н., к.г.-м.н., доцент, декан Гидрогеологического факультета
- 46 «Стандартизация технологии ТИТАН в России»**
Friedr. Ischebeck GmbH
Юнкер А., главный инженер геотехник
- 50 Инженерная защита от воды. Проектирование в крупных масштабах. Проектирование инженерной защиты от подтопления и затопления водохранилища Багаевского ГУ**
ООО «СОЮЗВОДПРОЕКТ»
Бойков О.И., генеральный директор
Шилов Д.С., начальник отдела автоматизации
Копылов А.С., начальник отдела гидрогеологии
- 54 Применение современных технологий и российской техники при выполнении работ по укреплению склонов, откосов и котлованов**
ООО «Анкерные системы» (Malinin group)
Малинин Д.А., директор
- 58 Геосинтетические материалы для гидротехнического строительства и инженерной защиты водных объектов. Практика применения**
ООО «ВостокГеоСинтетикс»
Щукин С. Н., генеральный директор
- 62 Водная эрозия на объектах строительства. Взгляд на причины. Оценка потерь. Эффективные механизмы контроля**
ООО «ЭСТМ»
Гресков П. Н., генеральный директор

АВТОРСКИЕ ПРАВА НА ИНФОРМАЦИЮ И МАТЕРИАЛЫ:

Все материалы в данном Сборнике докладов предназначены для участников международной научно-технической конференции «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений», проводимой 21-22 марта 2018 г. International Association of Foundation Contractors (Международной Ассоциацией Фундаментостроителей) и не могут воспроизводиться в какой-либо форме и какими-либо средствами без письменного разрешения соответствующего обладателя авторских прав за исключением случаев, когда такое воспроизведение разрешено законом для личного использования.

Воспроизведение и распространение сборника докладов без согласия Международной Ассоциации Фундаментостроителей преследуется в соответствии с Федеральным законодательством РФ. При цитировании, перепечатке и копировании материалов Сборника докладов обязательно указывать сайт и название компании организатора конференции — Международная Ассоциация Фундаментостроителей (ООО «МАФ»), www.ifc-union.com.

Авторы опубликованной рекламы, статей и докладов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и отсутствие данных, не подлежащих открытой публикации.

© ООО «МАФ» 2018. Все права защищены.

Инженерная защита территории. Комплексные проектные решения

ООО «ГЕОИЗОЛ»

Богданов И.С., главный конструктор

Инженерная защита территории всегда являлась неотъемлемой частью работ, выполняемых при реализации инфраструктурных объектов, и при этом сравнительно недавно стала выделяться в отдельный масштабный раздел проектной документации. Данное направление в Российской Федерации получило наиболее активное развитие в последнее десятилетие. Это связано с освоением территорий в труднодоступных местностях, характеризующихся специфическими природными процессами, способными нанести ущерб. К таким процессам можно отнести, к примеру: оползни, эрозию почв, сели, камнепады, снежные лавины. Они могут возникать как сами по себе, так и в результате воздействия человека на окружающую среду путем на-

рушения её естественных процессов и взаимосвязей.

Основной особенностью развития направления стала появившаяся в последнее время необходимость в снижении негативного воздействия на экологию и минимизации изменения рельефа местности, вырубки лесов и т.д. Это дало начало развитию и внедрению новых способов инженерной защиты территории, и привело к отказу от традиционных массивных железобетонных конструкций подпорных стен, дамб и т.д.

Таким образом, основными задачами инженерной защиты территории можно назвать — органичное размещение строительных объектов в экосистеме с сохранением её природных взаимосвязей, защита построенных или строящихся объектов от опасных при-



Рис. 1. Примеры выполненных работ



Рис. 2. Нормативные документы

родных воздействий, а также защита населения от риска возникновения возможных последствий внедрения в экосистему в результате нарушения природных процессов в ходе строительства.

Компания «ГЕОИЗОЛ» достигла высокого уровня компетенций на пути изучения, развития и становления данного направления и на сегодняшний день имеет богатый опыт в проектировании и реализации проектов инженерной защиты территории с использованием методов, позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду (Рис. 1). В составе комплексного подхода при проведении работ повсеместно проводились следующие мероприятия: предварительное обследование местности с изучением особенностей конкретной площадки, разработка проектов инженерной защиты территории различной сложности и их защита в органах Главного управления государственной экспертизы, строительство.

Одной из основных сложностей в реализации таких проектов стало отсутствие в достаточном количестве регламентов и нормативной базы, утвержденных на государственном уровне, на которые можно было бы опираться и ссылаться при согласовании проектов в органах Экспертизы или других согласующих инстанциях.

Среди значимых результатов деятельности компании «ГЕОИЗОЛ» можно отметить расширение и наполнение

нормативной базы по направлению инженерная защита территории. В частности, в это время был введен СТО НОСТРОЙ 2.5.126-2013 «Освоение подземного пространства. Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работ.» и СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003» (Рис. 2).

К основным нововведениям в нормативной литературе можно отнести следующее:

- расширение зон применения буроинъекционных анкеров;
- введение понятия — нагельное крепление;
- введение понятия — армированный грунт.

Технически, инженерную защиту территорий, зданий и сооружений можно описать как комплекс инженерных решений, направленных на предотвращение отрицательного воздействия опасных геологических, антропогенных и экологических процессов на территорию, здания и сооружения, а также на защиту от их последствий.

В настоящее время специалистами компании «ГЕОИЗОЛ» создан уникальный документ: «Альбом Типовых решений Инженерной защиты территории» (далее — АТР), в котором концентрированно собраны наиболее

Страница №5

Общий Вид

Разрез

Узел 1

Когтевая пластина

Примеры готовых объектов

№ поз.	Наименование
1	Грунтовый нагель
2	Покровная система
3	Сферическая лапка
4	Сферическая шабда
5	Когтевая пластина
6	Противоэрозивная защита
7	Гидропассев

Назначение:
 - Закрепление сползающего склона без изменения рельефа;
 - Защита от камнепадов.

Принцип устройства:
 Нагель проходит сквозь поверхность скольжения склона и анкеруется в устойчивой и оплывшейм явлениям грунт. Покровная система прижимается когтевой пластиной к рельефу и не дает грунту вытис из состояния равновесия, а так же предотвращает падение камней со склона.

Уникальные особенности типового решения:
 - Позволяет закреплять массив грунта без изменения рельефа;
 - Дополняет решение элементами противоэрозивной защиты;
 - Способность закрепить проложные участки склона;
 - Сохраняет естественное озеленение склона.

Типовые решения инженерной защиты	
Раздел 1	Противопожарная защита
Подраздел 3	Нагельное крепление склона

ГЕОИЗОЛ
проект

Рис. 3. Альбом технических решений. Нагельное крепление склона.

Нагельное крепление с сеткой

Нагельное крепление с прижимными плитами

Торкретирование

Рис. 4. Противооползневая защита без изменения рельефа местности в сочетании с противоэрозивной защитой

эффективные на сегодняшний день варианты технических решений по данному направлению (Рис. 3). Формат представленной в альбоме информации обеспечивает простоту и легкость восприятия сложных инженерных решений и позволяет любому человеку, в том числе не специализирующемуся в данной области, за короткое время получить общее представление о многообразии вариантов, технологии выполнения, а также составляющих элементов каждой системы. Наряду с этим, по каждому решению в альбоме представлен визуальный ряд построенных объектов с целью обеспечить объемное пространственное восприятие по каждому варианту решения.

Для каждого способа инженерной защиты, представленного в АТР, подобран весь спектр материалов, применяемых в данных решениях и разработана методика расчетов, адаптированная к существующим нормативам. Также компания «ГЕОИЗОЛ» имеет полный спектр техники для реализации данных решений в любых климатических условиях.

При обращении в компанию «ГЕОИЗОЛ» специалисты, используя накопленный опыт, помогут подобрать оптимальное решение для решения задачи клиента и предложат экономическое обоснование для нескольких вариантов инженерной защиты в оптимальные сроки.

Основными направлениями в развитии систем инженерной защиты компанией «ГЕОИЗОЛ» стали:

- противооползневая;
- противозерозионная;
- противоселевая;
- противокаменная;
- противолавинная;
- водоотведение;
- берегоукрепление.

Противооползневая защита без изменения рельефа местности (нагельное крепление склонов)

применяется для укрепления существующих откосов, склонов, выемок, находящихся в неустойчивом положении, путем внедрения в грунтовый массив системы грунтовых нагелей (Рис. 4) с устройством на поверхности слоя защитного покрытия, выполненного из высокопрочной стальной сетки (Рис. 5), с применением анкерных плит или торкретирования. Такое решение может использоваться как для постоянной, так и для временной инженерной защиты.

Специалисты «ГЕОИЗОЛ Проект» впервые на территории России массово применили данные решения для устранения проблем инженерной защиты территории, разработали технологию выполнения и теоретическую базу для расчетного обоснования данного решения, провели данные проекты через органы ГлавГосЭкспертизы и реализовали данное решение в рамках компании



Рис. 5. Нагельное крепление склона с противозерозионной защитой канатно-сетчатой системой

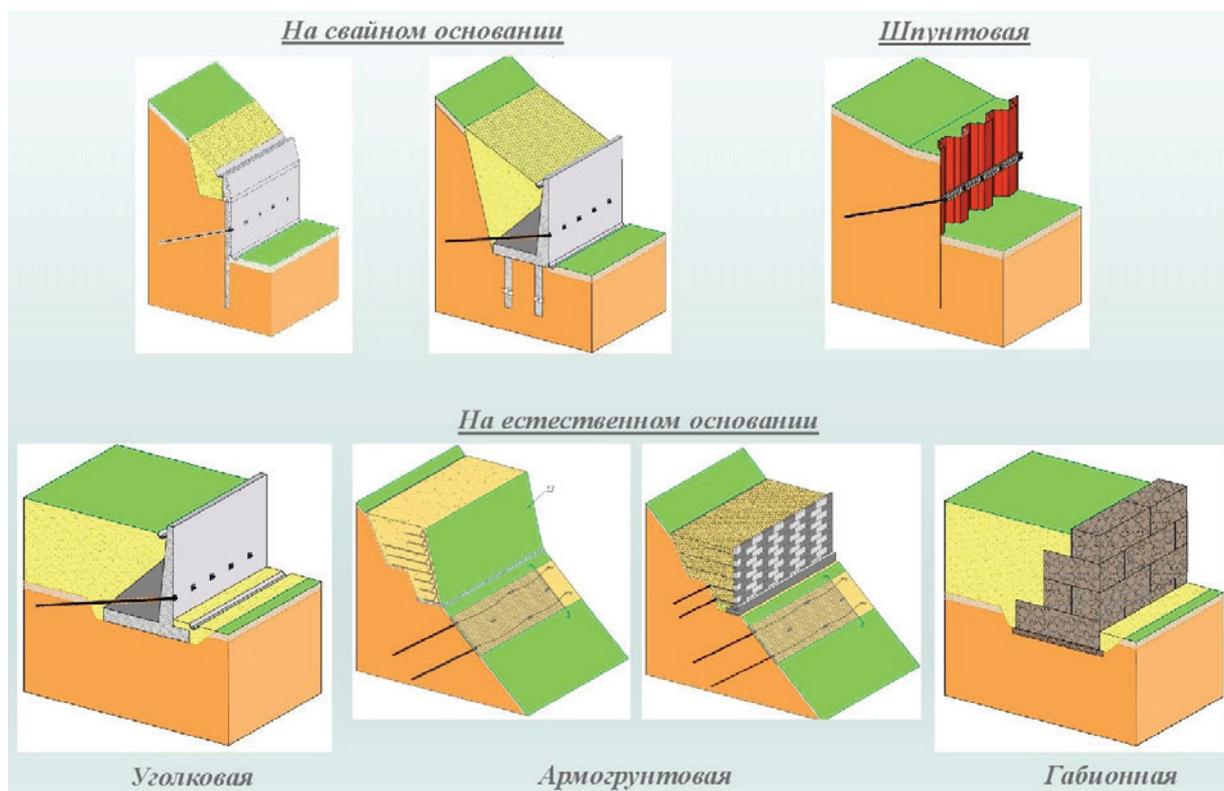


Рис. 6. Противооползневая защита с изменением рельефа местности

«ГЕОИЗОЛ» на большом количестве объектов.

Противооползневая защита с изменением рельефа местности может выполняться с целью устройства насыпей, котлованов или для защиты от оползней посредством применения подпорных стен различных видов: на искусственном (свайном) или естественном основании, с использованием шпунта, с помощью габрионных или армогрунтовых систем (Рис. 6). В данных вариантах инженерной защиты в качестве анкерного крепления повсеместно используется геотехническая система GEOIZOL-MP. Это решение предназначено для передачи горизонтальных нагрузок на глубокие слои грунта за пределами призмы обрушения. Анкерное крепление выполняется путем наклонного бурения с последующим натяжением стальной штанги на усилие расчетной нагрузки.

В качестве **защиты от селей** используют гибкие селеудерживающие барьеры из проволоки с кольцевыми ячейками с анкерными креплениями, которые останавливают селевые потоки и удерживают его твердую составляющую в верхнем бьефе. Противоселевые барьеры могут устанавливаться поперек русла как по одному, так и в виде каскада заграждений один за другим. Противо-

селевые барьеры устанавливаются от борта до борта долины. Между нижним несущим канатом барьера и дном долины оставляют проем для беспрепятственного прохождения стока и диких животных.

Специалисты «ГЕОИЗОЛ Проект» впервые на территории России применили инновационные способы устройства противоселевых барьеров из высокопрочных сетей, разработали технологию выполнения и теоретическую базу для расчетного обоснования данного решения, провели данные проекты через органы ГлавГосЭкспертизы и реализовали данное решение в рамках компании «ГЕОИЗОЛ» на большом количестве объектов.

Защита от камнепадов — один из ключевых вопросов безопасности при эксплуатации объектов инфраструктуры, а также проведении строительных работ в местности, где из одной из основных угроз является обрушение склонов.

Последние разработки в области защиты от камнепадов позволяют обеспечить экономичную защиту даже на тех участках, где ранее это считалось невозможным либо слишком затратным. Основными вариантами защиты от камнепадов можно назвать: противокамнепадные барьеры, галереи, завесы.

Способами **защиты от образования, удержива-**



Рис. 7. Система бун на побережье г. Зеленоградск

ния и схода лавин являются такие мероприятия как снеговывудающие конструкции, снегоудерживающие барьеры и лавинорезы.

Мероприятия по водоотведению выполняют при строительстве объектов в условиях горной местности, когда возникает потребность выполнить пропуск ручья через объекты инфраструктуры, к примеру, в местах пересечения с железной или автомобильной дорогой.

Наряду с этим, выполняют отвод грунтовых вод посредством различных видов дренажных систем в целях недопущения скапливания воды и, следовательно, её негативного воздействия на уже возведенные объекты строительства, а также осушения тела оползня и тем самым повышения его устойчивости.

Берегоукрепление выполняют вдоль берегов рек, озер, морей и других водных объектов, когда есть опасность разрушения берега в результате размывов и оплывания. В качестве наиболее распространенных вариантов укрепления берегов можно назвать: буны (Рис. 7), гибкие и жесткие волногасящие сооружения, шпунтовое ограждение, подпорные стены из габионов, биоматы и растения.

Важное место в инженерной защите по праву заняла Многофункциональная геотехническая система GEOIZOL-MP (Рис. 8), которая применяется сразу в нескольких вариантах и обрела свое оптимальное применение в **противооползневой защите без изменения рельефа местности**. Данное решение получило большое распространение, благодаря следующим пре-

имуществам:

- переход от массивных подпорных железобетонных конструкций к сохранению эстетичного внешнего вида примыкающих склонов;
- возможность выполнять работы малогабаритной техникой;

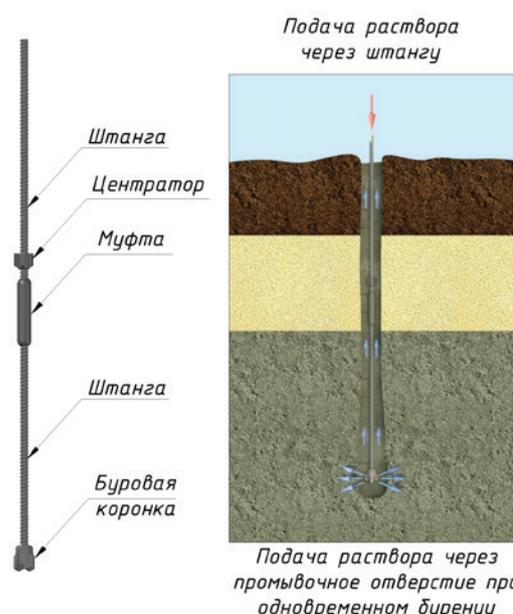


Рис. 8. Многофункциональная геотехническая система GEOIZOL-MP



— выполнение гарантированного усиления существующих насыпей без проведения земляных работ.

Весь процесс выполнения элемента анкерной системы GEOIZOL-MP происходит на одном технологическом этапе. Штанга одновременно является буровым и инъекционным инструментом. Сразу с началом бурения производится инъекция (через внутренне отверстие буровой трубы под давлением 5–10 бар)

промывочной цементной смесью (В/Ц — 0,7...0,8). Цементная смесь, проникая в структура грунта, стабилизирует стенки скважины, устраняя необходимость применения обсадных труб. При этом штанга вместе с соединителями (муфтами) остается в скважине, выполняя функцию центрального армирования сваи. Для обеспечения защитного слоя и проектного положения штанги применяют центраторы.

Список литературы:

1. СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». – М: 2011.
2. ВСН 506-88 «Проектирование и устройство грунтовых анкеров». – М: 1989.
3. ТУ 5264-001-50868904-2013 Трубчатые винтовые штанги и соединительные элементы к ним (муфты, гайки) многофункциональной геотехнической системы GEOIZOL-MP;
4. СТО НОСТРОЙ 109-2013 «Освоение подземного пространства. Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работ.» – М.: 2013;
5. СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003»;
6. СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах" (СП 14.13330.2011)) (с Изменением N 1).

ГК «ГЕОИЗОЛ»
г. Санкт-Петербург
+7 (812) 337-53-13
info@geoizol.ru
www.geoizol.ru



Стабилизация выветрелых оползневых склонов инъекционными методами

Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Кафедра инженерной и экологической геологии — лаборатория инженерной геодинамики и обоснования инженерной защиты территорий

Зеркаль О.В., к.г.-м.н.

Пономарев А.А., аспирант

Кафедра инженерной и экологической геологии — лаборатория грунтоведения и технической мелиорации грунтов

Самарин Е.Н., к.г.-м.н.

Кравченко Н.С., аспирант

ООО «Инжзащита»

Пономарев А.А., заместитель директора по научным вопросам

Введение. Инженерно-хозяйственная деятельность в горно-складчатой местности Западного Кавказа представляет собой чрезвычайно ответственную задачу, поскольку сложные структурно-тектонические условия, вкупе с высокой расчлененностью рельефа являются факторами, обуславливающими развитие широкого спектра современных склоновых процессов; интенсивность их проявления, как правило, повышается вследствие инженерно-строительной деятельности, особенно в случаях непродуманной организации отдельных строительных операций. Необоснованная подрезка склонов, оставление на длительные промежутки времени вскрытых котлованов, перепланировка поверхности и другие мероприятия приводят к тому, что ниже-, среднеюрские аргиллиты, широко развитые в районе пос. Красная Поляна, лишаются естественного покрова перекрывающих их четвертичных осадков, выполнявших роль защитного барьера, и подвергаются резкому и быстрому выветриванию. Результатом изменения состояния и прочностных свойств пород, слагающих склоны, является развитие техногенно спровоцированных оползней, осыпей, оплывин и других гравитационных процессов, приводящих к необоснованному удорожанию строительства. В настоящем докладе представлена характеристика специальной методики разработанной авторами в 2015 году. Методика подразумевает стабилизацию выветрелых склоновых массивов путем инъекции различных по характеристи-

кам растворов в разные части выветрелого склонового массива. Растворы тщательным образом подбираются под особенности геологического строения склоновых массивов и приводят к значительному увеличению прочностных характеристик грунтов.

Объект исследования. Район пос. Красная Поляна, где размещены основные сооружения Олимпийского горного кластера, расположен в зоне распространения структурно-неустойчивых грунтов, характеризующихся крайне низкой сопротивляемостью выветриванию. Вследствие этого в процессе строительных работ на ряде объектов при техногенном удалении чехла четвертичных отложений наблюдалось быстрое разуплотнение коренных отложений и возникновение серии поверхностных оползней. В частности, указанные проблемы проявились при строительстве комплекса Олимпийских трамплинов, где на отдельных этапах строительства объем денудировавшего со склона грунта достигал 100 тыс. м³ в месяц и более. В связи с этим, в качестве одного из мероприятий по стабилизации было использовано покрытие склона геоматами марки "Kokomat", которые крепились при помощи системы нагелей длиной 5-7 м. Такая схема способствует не только предотвращению поверхностной денудации оползневого склона, но и общему повышению прочностных свойств верхней части массива грунта. В качестве запяточного крепления нагелей для региона

традиционно используют инъекции 5-10 % суспензии портландцемента. Однако, высокая степень разуплотнения поверхностного слоя приводит к оползанию покрытия вниз по склону.

Опытные работы проводились на поверхности искусственных террас в средней части оползневого склона к северо-востоку от трамплина К-125. В геологическом строении участка принимают участие ниже-среднеюрские отложения, представленные аргиллитами с прослоями и септариями небольшой мощности известняков, песчаников, гравелитов. Аргиллиты содержат в своем составе существенное количество пелитаморфного органического вещества; основная терригенная составляющая (кварц) сцементирована непрочной мелкочешуйчатой хлорит-серицитовой массой, в связи с чем аргиллиты быстро размокают до полной потери структурной прочности. Так, экспериментально установлено, что скорость размокания образцов аргиллита кубической формы с гранью 4 см размокают в течение 1-2 минут. Верхнеплейстоцен-голоценовые образования после удаления делювиально-осыпных накоплений, представлены преимущественно оползневыми блоками разного возраста, развитыми по юрским аргиллитам. Мощность голоценовых оползней, спровоцированных техногенной строительной деятельностью, оценивается в 5-17 м, мощность древних оползневых блоков — в 30-50 м.

Участок находится в зоне дробления крупного Краснополянского разлома с зоной дробления и перемещения пород более 700 м. На участках, не подвергавшихся тектоническому воздействию породы залегают в виде моноклинали с падением в юго-западных румбах 210-230° под углами от 30-35° до 55-65°. Непосредственно на участке расположения комплекса трамплинов элементы залегания пород существенно нарушены. Породы фрагментарно смяты в запрокинутые складки, которые прослеживаются в общей структуре массива, разбитого на отдельные блоки. Характер залегания пород изменяется от субгоризонтального до практически вертикального. Размер же самих блоков может изменяться от первых метров до нескольких десятков

метров. Породы интенсивно разбиты трещинами. Тектонические трещины, с шириной раскрытия до 2-4 см, заполнены кварцем и кальцитом; оползневые трещины, с шириной раскрытия до 1-2 см, заполнены глинистым грунтом (суглинки, глины); трещины разуплотнения, с шириной раскрытия от долей миллиметра до 1-2 мм, как правило, заполнителя не имеют.

Отличительной особенностью склоновых массивов, сложенных нижеюрскими аргиллитами, является их дифференциация на две части. Верхняя часть мощностью до 10 м представлена сильно выветрелыми аргиллитами, для неё характерны высокие коэффициенты фильтрации и высокая трещиноватость. Удельное водопоглощение аргиллитов в верхней части разреза превышает 0,5 л/мин. Нижняя часть массива сложена плотными тонко трещиноватыми черными аргиллитами с очень низкими коэффициентами фильтрации (**таблица 1**). Невыветрелые грунты прочностью на раздавливание 7,0-9,0 МПа, углом трения 25-30° и сцеплением 25-30 кПа, выветрелые — 3,0-3,5 МПа, 26-28° и 9-11 кПа соответственно.

Подобная особенность строения сильно усложняет использование метода анкерного крепления склоновых массивов. В целях исследования возможности широкого промышленного внедрения были протестированы 3 методики.

Инъекция пропиткой выветрелых аргиллитов цементной суспензией. Экспериментально подобранный вариант рабочего раствора имеет следующий состав: водоцементное соотношение В/Ц суспензии на основе ординарного портландцемента по ГОСТ 31108-2033 — 1,65, с 7 %-ной добавкой жидкого стекла (силикатный модуль $M_c \sim 2,8$). Такой раствор характеризуется условной вязкостью в 1,4 раза большей, чем у воды. Инъекция производилась через вкручиваемые инъектора конструкции ООО «Инженерная защита», диаметром 40 мм и длиной 1,5 м. для проведения инъекции было пробурено шесть шпуров. Расстояние между шпурами по горизонту 2 м, по склону 1,5 — 1,8 м. Угол бурения — 90 градусов к поверхности склона. для

Таблица 1. Показатели физических свойств аргиллитов

Грунты	$W_{вст}, \%$	$P_{вст}, \text{г/см}^3$	$K_{\phi}, \text{м/сут}$	$n, \%$	$e, \text{д.ед.}$
Выветрелый аргиллит, верхняя часть массива	12-15	1,8-2,0	10-12	32-35	0,5
Аргиллит, нижняя часть массива	2-3	2,0-2,5	0,001	7	0,08

этого использовался пневматический перфоратор ПП-63 и компрессор PDS-390. После бурения и продувки шпуров были установлены инъектора. Нагнетание цементной суспензии производилось последовательно. В качестве насоса использован растворонасос СО49ПА с электроприводом. Для последующего определения радиуса инъекции в суспензию был добавлен краситель. Давление нагнетания варьировалось от 6 до 12 атм., расход раствора на один инъектор составил — 50-60 л.

Последующее вскрытие закрепленного массива показало, что при давлениях не выше 6 атм. наблюдается равномерное заполнение трещин цементным раствором, причем радиус закрепления может достигать 0,5 м. При увеличении давления происходит гидроразрыв с выходом раствора на поверхность на расстоянии не более 15-20 см от инъектора. Плотность аргиллитов увеличивается до $2,31 \text{ г/см}^3$, то есть становится сопоставимой с плотностью невыветрелых разностей грунта, главным образом за счет уменьшения трещинной пустотности, а прочность на сжатие увеличивается до 16,2 МПа. Попытка использования данного раствора для закрепления нижней части массива привела к его выходу в более выветрелую верхнюю толщу с последующим распространением в ней.

Закрепление массива невыветрелых аргиллитов нагелями с инъекцией синтетической смолы. В качестве инъекционного материала была использована двухкомпонентная синтетическая органо-минеральная смола марки «Geoflex», производство фирмы «Minova CarboTech GmbH», Германия. В настоящее время накоплен значительный положительный опыт применения синтетических смол подобного типа на угольных шахтах Кузбасса. Например, смола «Geoflex» с успехом использована при проходке разрывных нарушений (шахты «Имени Ленина», разрезы «Сибиргинский» и Томусинская 5-6), при стабилизации очистных забоев (шахты «Большевик», «Казанковская», «Кыргайская», «Распадская» и «Октябрьская»); при отработке пологого пласта с выпуском подкровельной пачки угля (шахта «Ольжерасская-Новая», УК ОАО «Южный Кузбас») (Климчук, Маланченко, 2007, 2009).

Органо-минеральная смола «Geoflex» имеет двухкомпонентный состав. Раствор А представляет собой жидкое стекло (силикатный модуль $M_c \sim 3,0$) с добавками, плотностью $1,48 \text{ г/см}^3$ и вязкостью приблизительно 260 сп при 15°C . Раствор В представляет собой толуилдендифенолдиизоцианат с плотностью $1,14 \pm 0,03 \text{ г/см}^3$ и вязкостью порядка 150 ± 30 сп. При смешении растворов происходит их разогрев приблизительно до 100°C , что приводит к разложению не реакционноспособного дифенилуретана на фенол и диизоцианат, который, ре-

агируя с жидким стеклом, образует полимер (Воробьев, 2004). Время индукционного периода составляет 2 мин., время окончания схватывания не превышает 4 мин.

Нагнетание каждого раствора производилось отдельно при помощи двухкомпонентного пневматического поршневого насоса SK90 1:1 с двумя контурами для нагнетания через анкер типа «IRMA» длиной 2500 мм. Перед анкером устанавливался смеситель для перемешивания растворов. Давление нагнетания составило $9,5 \pm 0,2$ атм. Расход рабочего раствора составил приблизительно 7,5 л/мин. Общий расход рабочего раствора составил приблизительно 60 л.

Трубка «IRMA» изготовлена из стальной ненарезной трубы; внешний \varnothing 25 мм, внутренний \varnothing 11 мм. На расстоянии 700 мм от головки анкера монтируется герметизатор длиной 250 мм, который способен изолировать скважину (шпур) диаметром до 60 мм. Процесс установки «IRMA» состоит в опускании инъекционно-анкерной трубки в пробуренный шпур и нагнетании через нее рабочего инъекционного состава.

Вскрытие инъекционно обработанного массива грунтов показало, что при выбранном давлении инъекции наблюдается гидроразрыв массива. Зона разрыва имеет основную трещину, ориентированную под углом приблизительно в $110-120^\circ$ к направлению инъекции, и имеет максимальную ширину около 2-3 см. Основная трещина на расстоянии около 1,5 м от инъектора расплывалась на более мелкие трещины. Общая длина трещины более 3 м. Образующийся гель обладает высокой адгезией к минеральной поверхности аргиллита, образцы, хранившиеся в воздушно-влажной среде более 1 года не расслаивались. Для образцов с трещинами, заполненными полиуретаном, отмечается потеря до 10 % влажности, что сопоставимо с влажностью аргиллитов вне зоны поверхностного разуплотнения. Плотность аргиллитов увеличивается до $2,24 \text{ г/см}^3$, прочность на сжатие увеличивается до 25,0 МПа.

Проведенные работы показывают возможность успешного армирования трещиноватых аргиллитов верхней части массива с помощью нагельных полей закреплённых методом гидроразрыва.

Закрепление массива невыветрелых аргиллитов растворами коллоидного кремнезема. В качестве инъекционного материала использовался раствор коллоидного кремнезема «Лейксил-30» НТЦ «Компас», г.Казань. Свойства некатализованного раствора: массовая доля диоксида кремния – 29 %, диаметр мицелл — 7,6 нм, плотность — $1,207 \text{ г/см}^3$, pH — 10,07, кинематическая вязкость — 4,64 сСт (динамическая вязкость — 5,39 сп). В качестве отвердителя использован 10 %-ный раствор хлористого натрия, который

добавлялся в соотношении 1:6. Вязкость рабочего раствора — 2,2 сп. Время схватывания составило 35 мин.

Образцы невыветрелых аргиллитов ненарушенного сложения вырезались кольцами диаметром 160 мм. Отобранные образцы пропитывались капиллярно рабочим раствором коллоидного кремнезема. После схватывания кремнегеля образцы закрепленного грунта были подвергнуты 10-ти кратному циклическому замачиванию — высушиванию по стандартной методике. Закрепленные образцы и образцы естественного сложения в последствии были подвергнуты физико-механическим испытаниям методом плоскостного среза по схеме быстрого сдвига на установке МСУ-1. Общие результаты сдвиговых испытаний, представлены в **таблице 2**.

Общее время испытаний — 1,5 месяца. Полученные результаты показывают, что у образцов аргиллитов, закрепленных раствором коллоидного кремнезема, сцепление увеличивается в 3-4 раза по сравнению с таковым у незакрепленных грунтов. При этом закрепленные образцы сохраняют свою структуру несмотря на циклическое замачивание-высушивание, в то время как монолиты незакрепленного грунта после даже од-

ного цикла замачивания полностью дезинтегрируются до практически полной потери структурной прочности. Кроме этого приблизительно на 40 % увеличивается угол внутреннего трения. Более того, следует ожидать повышения прочностных характеристик при последующей дегидратации кремнегеля.

Опытное нагнетание раствора коллоидного кремнезема в массив, выполненное по методике, аналогичной использованной при цементации, показало, что при закачивании 50 л рабочего раствора под давлением 5-6 атм с расходом 5-7 л/мин радиус распространения раствора составил около 1 м.

Полученные в результате опытно-производственных нагнетаний данные позволяют с уверенностью говорить о высоком потенциале применения растворов коллоидного кремнезоля для закрепления и стабилизации массивов, сложенных нижнеюрскими аргиллитами. В отличие от органических смол и водоцементных суспензий растворы кремнезоля значительно менее вязкие, время их гелеобразования хорошо регулируется, а разработанная технологическая схема по их нагнетанию в массив отличается мобильностью и простотой.

Таблица 2. Прочностные характеристики аргиллитов естественного сложения после 10-ти циклов замачивания.

Показатели прочности	Аргиллит в естественном сложении	После 10-ти циклов замачивания	
		Аргиллит в естественном сложении	Закрепленный аргиллит
Угол внутреннего трения, φ, градусы	20-27	15-20	25-31
Сцепление, С, кПа	20-29	2-5	75-80

Геологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова
г. Москва
+7 (495) 939-10-00
info@rector.msu.ru,
samarinen@mail.ru
www.msu.ru

ООО «Инжзащита»
г. Сочи
+7 (862) 268-74-74
dir@engpro.ru
www.engpro.ru



Инженерные методы повышения устойчивости склонов в сейсмически опасных районах

АО «КазНИИСА

Хомяков В.А., главный специалист, д.т.н.

Жамек Н., ведущий инженер

Еменов Ю.М., инженер

Аннотация: По результатам предварительного обследования состояния склонов и данных инженерно-геологических условий в предгорных районах города Алматы (Казахстан) выделены наиболее опасные и характерные участки, установлено их геологическое строение и даны варианты по обеспечению устойчивости склонов и откосов различной крутизны. Расчетным обоснованием подтверждена эффективность предлагаемых методов и даны конкретные конструктивные мероприятия.

Повышение уровня жизни в Казахстане привело к интенсивному освоению инфраструктуры предгорных территорий Алматы, где ранее горожане имели дачные хозяйства. Освоение происходило очень интенсивно и практически бесконтрольно, поэтому маленькие одноэтажные садовые домики быстро превратились в шикарные 2-х или 3-х этажные особняки с современной архитектурой. Со временем эти территории отошли к городу, и обрастали городскими коммуникациями и благоустраивались. Однако участки, где строительство затруднено, а именно на склонах, в долинах, в оврагах и подобных местах хозяева меняли планировку территории подрезая склоны и засыпая овраги. Это привело к образованию новых промоин, расслоению и повышению трещиноватости поверхности с формированием оползневых участков. Именно такие опасные геологические процессы привели к возникновению чрезвычайных ситуаций, для устранения которых намечены работы по укреплению склонов западной части горного региона микрорайона Баганашил в Бостандыкском районе г. Алматы (Казахстан).

Инженерно-геологическое исследование таких территорий показали, что в геоморфо-логическом отношении территория представляет собой участок нижней предгорной ступени, характерной особенностью рельефа которой является выделение двух отчетливо выраженных террасовидных предгорных ступеней,

имеющих морфологически грядовый или грядовоувалистый вид. Склоны расчленены густой сетью логов с частыми оползневыми цирками и террасами, сложенными в генетическом отношении пролювиальным комплексом отложений верхнечетвертичного возраста. Глубина эрозионного расчленения рельефа достигает до 20 м.

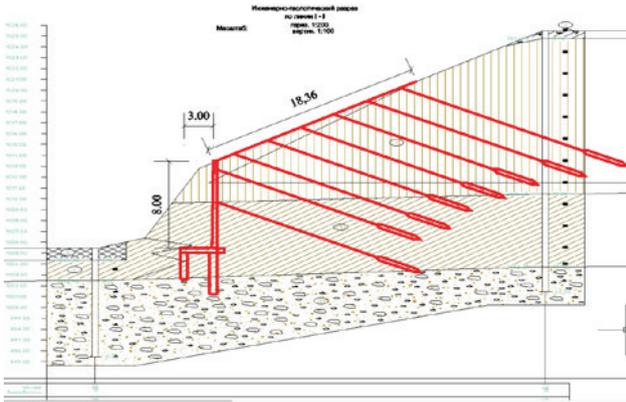
Сейсмичность района строительства по приложению 2 СНиП РК 2.03-30-2006 равна 9 (девяти) баллам по шкале MSK 1964. Территория города Алматы согласно карте сейсмического микрорайонирования разделена на зоны по уровню сейсмической опасности. Исследуемая территория расположена в пределах инженерно-сейсмического участка III-B-2, относящегося к 10 балльной сейсмической зоне, согласно приложению 1 СН РК 2.03-07-2001.

Результаты обследования. Летом 2017 года проведено обследование рассматриваемого участка с целью установления фактического состояния поверхностных грунтов и их физико-механических свойств, активности экзогенных геологических процессов и оценки сейсмостойкости и технического состояния грунтовых склонов. На топографической основе территории были выделены участки, где геологические процессы происходили наиболее интенсивно. Согласно изысканиям склоны сформированы суглинками, которые по компрессионным испытаниям обладают просадочными свойствами второго типа. Нижняя граница просадочной толщи прослеживается до глубины 13,0 м, 14,5 м от гребня склона. В местах отсутствия водоотводящих систем наблюдаются скопления атмосферной и талой воды. В связи с этим для рыхлых лёссовых грунтов по всей поверхности склона характерно переувлажненное состояние и как следствие нарушение устойчивого положения, возникновение оползней.

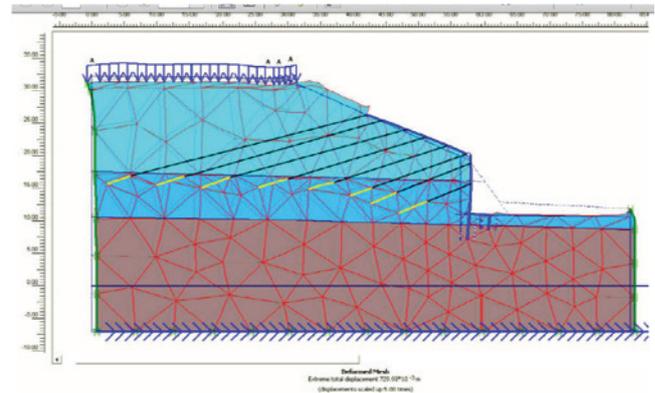
Расчётное обоснование. Учитывая разнообразие профилей геологического строения, выделены три

Таблица 1. Основные схемы усиления участков

Схема усиления 1

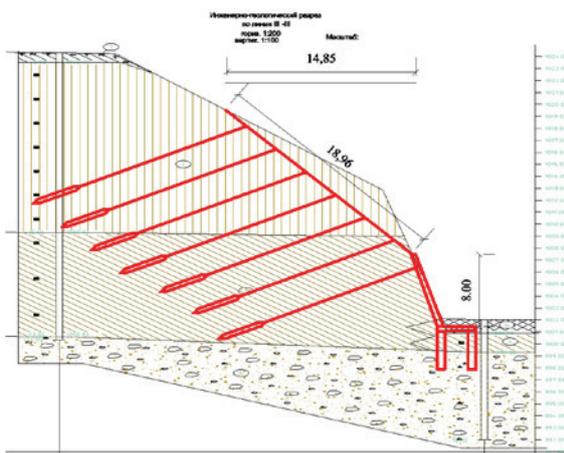


Расчетная схема усиления 1

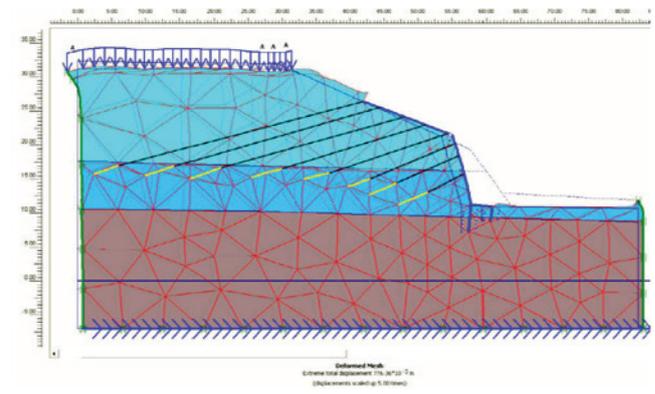


Расчётная схема 1 в программе PLAXIS

Схема усиления 2

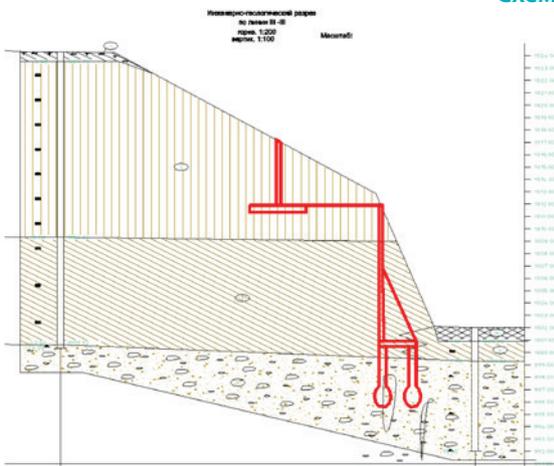


Расчетная схема усиления 2

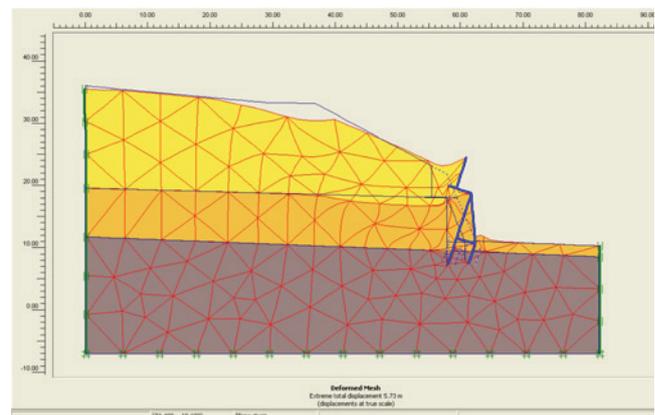


Расчётная схема 2 в программе PLAXIS

Схема усиления 3



Расчетная схема усиления 3



Расчётная схема 3 в программе PLAXIS

схемы усиления откосов для обеспечения их устойчивости, **таблица 1**.

Результаты расчётов устойчивости выполнены в программах USCOT и PLAXIS. В расчетах приняты характеристики грунтов, как в естественном, так и в водонасыщенном состоянии. Результаты расчетов показали, что западный склон на всём протяжении склона является оползнеопасным и необходимы мероприятия по закреплению грунтов склона. Самыми неблагоприятными для устойчивости склона по физическим свойствам в состоянии водонасыщения являются просадочные суглинки верхнего слоя, макропористые, от твердой до мягкопластичной консистенции. Ниже просадочного грунта расположен суглинок темно-коричневого цвета, непросадочный, твердой и полутвердой консистенции. Он выделяется почти повсеместно, подстилает просадочный слой и простирается до территории подошвы склона. Ниже расположен галечниковый грунт с песчаным заполнителем до 15-25% и включением валунов до 20%, представленных гранитами, реже порфирами.

Основные мероприятия. На основании выполненных расчетов, решено общую устойчивость склона обеспечить устройством железобетонной подпорной стены, плитная часть которой опирается на буронабивные сваи, установленные у основания склона. В качестве основной принята схема усиления 2, **таблица 1**. Устойчивость

склона на локальных участках выше подпорной стенки была обеспечена: установкой по всему склону ячеистого каркаса из железобетонных балок, надежность работы которых обеспечивается установкой грунтовых анкеров типа «Титан».

Подпорные стены с буронабивными сваями запроектированы в виде рам для восприятия активного давления грунта. Диаметр буронабивных свай принят 0,6 м. Пролёт рам и шаг расположения свай назначен на основании расчётного обоснования. Расстояния между осями свай поперек длины подпорной стены приняты не менее 3,0 м, шаг свай в ряду — 2,5-3,0 м, расположение шахматное. Оголовки сваи связаны между собой продольным и поперечным железобетонным ростверком или плитой, **рис. 1**. Длина буронабивных свай назначена из условия прорезания просадочной толщи и заделки конца свай в гравийный грунт. В подпорной стенке предусмотрены антисейсмические швы через каждые 15 м.

Армирование подпорных стен и буронабивных свай назначено на основании расчётного обоснования. По схеме усиления 2 приняты следующие параметры: толщина стены — от 200 до 400 мм, уклон стены к вертикали — 20°, длина анкеров — 12-20 м, шаг расстановки — 2,5-3,0 м. Сваи — диаметр 0,6 м, длина до 6 м, толщина плиты — 600 мм.

Для обеспечения устойчивости склона выше стенки



а) Вид склона до установки подпорной стенки



б) Подготовка наклонной поверхности и армирование плиты



в) бетонирование плиты подпорной стены

Рис. 1. Этапы возведения подпорной стенки



а) Установка грунтовых анкеров для закрепления решетчатых элементов

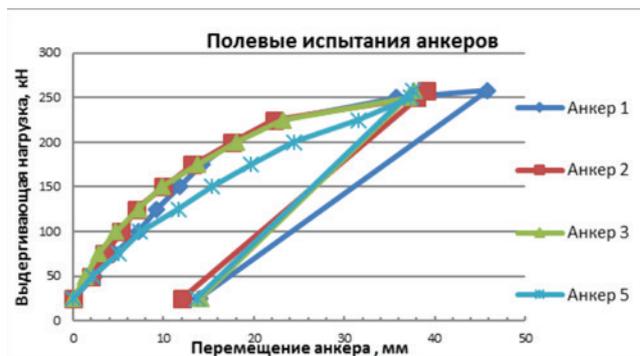


б) Подготовка территории для установки монолитных решетчатых элементов

Рис. 2. Вид закрепления склона решетчатыми элементами



а) Общий вид проведения испытаний



б) Основные результаты проведения испытаний анкеров

Рис. 3. Вид закрепления склона решетчатыми элементами

применены решетчатые конструкции. Решётки выполнены из монолитного железобетона сечением 40х40 см, расположены в шахматном порядке по сетке 2,5-3,0 м и в основном повторяют конфигурацию склона, не нарушая его природное состояние. Для крепления решетчатых конструкций использованы грунтовые полые анкера типа «ТИТАН», диаметром 32-38 мм. Длина анкеров назначена исходя из заглубления якоря анкера в прочный непросадочный слой грунта.

Для отвода атмосферных и талых вод в решетчатых конструкциях по склону предусмотрены наклонные водоотводные каналы. Шаг расстановки каналов 15-20 метров. Каналы должны уводить воду в продольные каналы вдоль стенки и далее водоотвод в сбросную ливневую канализацию.

Эффективность работы грунтовых анкеров контролировалась проведением полевых испытаний анкеров.

Проектные значения усилий, возникающих в анкерах, получены результатами аналитического расчета в ПК PLAXIS. Диапазон изменения усилий колеблется от 120 до 259 кН. Полевые испытания анкеров проводились как на наклонной части подпорной стенки, так и на склоне, где применены решетчатые конструкции. Методика проведения испытаний выбрана в соответствии с ВСН 506-88 «Проектирование и устройство грунтовых анкеров» и СН РК 5.01-05-2009.

Результатами испытаний установлено, что предельная выдергивающая нагрузка на анкер составляет от 250 кН до 267,5 кН. Выдергивание (перемещение) анкеров составила в пределах $S = 40,0$ мм. Результатами шести испытаний и статистической обработкой полученных данных, с учетом коэффициента условия работы в грунте, расчетное значение предельного сопротивления (несущая способность) испытываемых анкеров составляет $F_{du} = 20,12$ т.



ВЫВОДЫ:

1. Инженерно-геологические исследования на 5-ти характерных участках горных склонов в микрорайоне Баганашил в Бостандыкском районе показали, что склоны являются потенциально опасными и склонными к оползанию. Грунты, формирующие склон, представлены суглинком просадочным и непросадочным в твёрдом полутвёрдом состоянии. По склону активно развиваются экзогенные геологические процессы, приводящие к разрушению, эрозии, формированию оползневых участков.

2. Результаты расчётов устойчивости по пяти наиболее характерным поперечным сечениям склонов микрорайона Баганашил в Бостандыкском районе, показали, что при сейсмической активности до 9 баллов и природной влажности склоны в целом устойчивы. Коэффициент устойчивости колеблется в диапазоне 1,35-1,94. При сейсмической активности 10 баллов коэффициент устойчивости уменьшается до 0,92-1,0. Это свидетельствует, о том,

что локальные участки склона неустойчивые и требуют усиления.

3. Для усиления склонов рекомендовано к применению три схемы, где рекомендуется использовать уголко-вые подпорные стенки на вертикальных сваях с анкерным креплением стенки в грунтовый массив. Сваи следует заглублять ниже площадки сдвига в гравийный грунт для восприятия сдвигающей нагрузки от оползающего грунта. Грунтовые анкера должны обеспечить более устойчивое положение подпорной стенки. Глубина заделки анкеров предусмотрена в непросадочный слой.

4. Для обеспечения устойчивости поверхностных слоёв склона предусмотрено устройство решетчатых элементов, которые устраиваются по поверхности грунта. Решетчатые элементы имеют сечение 40-50см и закрепляются грунтовыми анкерами для поддержания в устойчивом состоянии. Крепление анкеров следует выполнять в непросадочный суглинок или гравийный слой.

Список литературы:

1. Гинзбург Л.Н. Противооползневые удерживающие конструкции. М.: Стройиздат, 1979.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др./ Под общ.ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат. 1985. 480 с.
3. Бишоп А.У. Параметры прочности при сдвиге ненарушенных и перемятых образцов грунта. Механика. Новое в зарубежной науке. Определяющие законы механики грунтов. М., Мир, 1975.
4. СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах».
5. ВСН 506-88 «Проектирование и устройство грунтовых анкеров»
6. СН РК 5.01-05-2009 Винтонабивные (буроинъекционные) анкера и сваи с тягой из трубчатых штанг «Титан».
7. МСН 2.03-02-2002 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».
8. СНиП РК 5.01-01-2002 «Основания зданий и сооружений».

АО «КазНИИСА»
Республика Казахстан, г. Алматы
+7 (727) 392 75 59, 392 75 92
info@kazniisa.kz
www.kazniisa.kz



Геотехнический мониторинг как основа прогнозирования технического состояния обделки при эксплуатации транспортных тоннелей

ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Лебедев М. О., заместитель генерального директора по НИР, к.т.н.

Безродный К. П., советник генерального директора по НИР, д.т.н.

В настоящее время оценка технического состояния транспортных (автодорожных) тоннелей осуществляется на основании инструкций и методических рекомендаций. Так, например, для автодорожных тоннелей такие работы выполняются на основании [1]. Состав работ по надзору включает визуальные осмотры и геодезическо-маркшейдерские наблюдения состояния конструкций автодорожных тоннелей с заданной периодичностью.

К сожалению, при таком подходе, невозможно дать своевременную оценку технического состояния несущих конструкций, а тем более его прогнозировать, в силу наличия косвенных факторов, способствующих искажению реальной оценки результатов визуальных осмотров. Как, например — неверная оценка значимости выявленных нарушений, формальный подход к выполнению рутинных задач, наличие специалиста в области «работы» подземных сооружений (геотехника или геомеханика).

Но если на уровне административных ресурсов такие факторы возможно исключить или исправить, то с точки зрения результативности визуальные осмотры все равно не позволяют ответить на вопрос о причинно-следственной связи выявленных нарушений с происходящими процессами в работе системы «обделка — вмещающий массив». Ведь при реализации проектной документации на строительство тоннеля в полном объеме, видимое появление нарушений на внутреннем контуре обделки может проявиться только вследствие изменения схемы взаимодействия обделки с вмещающим массивом, вызванное техногенными или природными воздействиями. А такую информацию можно получить только при наличии контрольно-измерительной аппаратуры в теле самой обделки. Эта аппаратура позволяет получить информацию о реализованном «горном давлении» при строительстве тоннеля, а затем, при эксплуатации, судить о его изменении.

Опыт строительства транспортных тоннелей показывает, что идеальной схемой для контроля напря-

женно-деформированного состояния обделки, является оснащение обделки контрольно-измерительной аппаратурой в составе горно-экологического мониторинга [2] при строительстве тоннелей с последующей передачей смонтированного оборудования эксплуатирующей организации [3].

Самой масштабной работой в РФ по реализации горно-экологического мониторинга при строительстве транспортных тоннелей является «Олимпийская» трасса на участке Адлер — «Альпика-Сервис», на которой было построено 6 железнодорожных и 3 автодорожных тоннеля общей протяженностью подземных выработок около 32,5 км.

В состав горно-экологического мониторинга входили:

- геодезическо-маркшейдерские наблюдения;
- сейсмологические наблюдения;
- сейсмометрические исследования;
- геофизические исследования;
- геомеханические исследования;
- гидрогеологические наблюдения;
- оценка устойчивости оползневых склонов;
- система экологического мониторинга.

На основании данных геотехнического (горно-экологического) мониторинга осуществлялась корректировка проектных решений.

Так, например, при строительстве железнодорожного тоннеля №4 участка Адлер — «Альпика-Сервис» строительство велось в массиве, представленном аргиллитами блочной структуры и полускального состояния. Напряженное состояние тяжелой аркобетонной крепи, возводимой с отставанием от забоя на 20-30 метров, после ее возведения практически не изменялось. Максимальная величина сжимающих напряжений в бетоне не превышала 1 МПа. Разработка штроссовой части также не оказала изменений на напряженное состояние крепи. Для таких условий аркобетонная крепь является не-

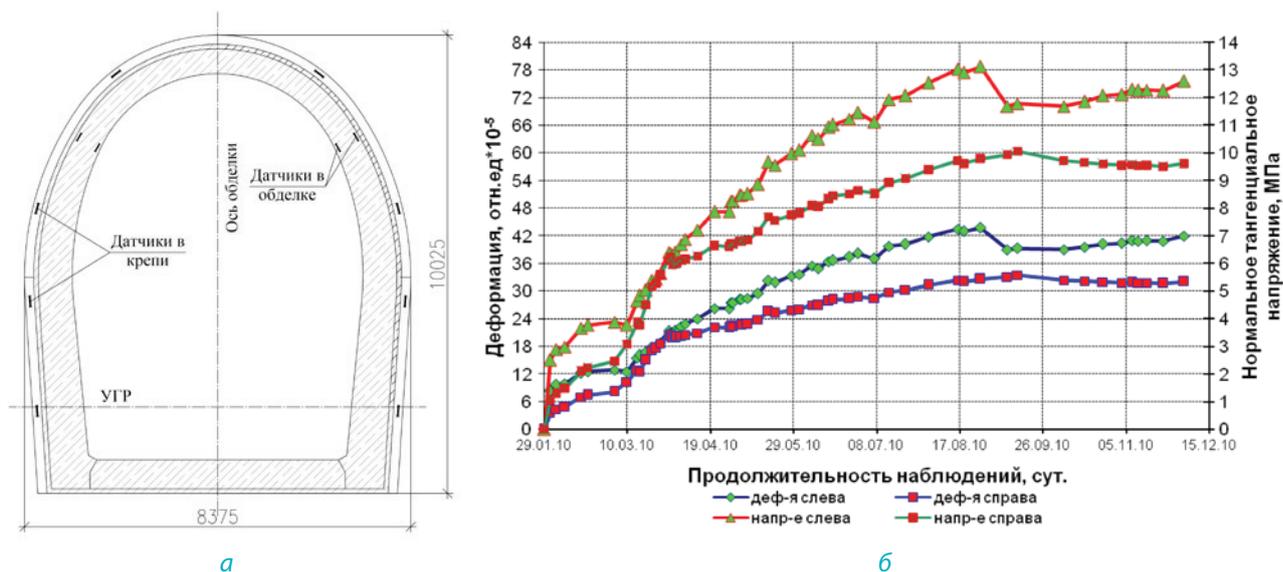


Рис. 1. Определение напряженно-деформированного состояния крепи и обделки: а – размещение струнных датчиков в крепи и обделке; б – формирование напряженного состояния крепи с учетом технологии строительства; 1 – разработка штроссовой части; 2 – возведение постоянной обделки

эффективной при принятой технологии строительства — нанесение на призабойном участке набрызгбетона и установка анкерной крепи, а с отставанием на 20-30 метров возведение аркобетонной крепи. Поэтому были разработаны рекомендации по облегчению ее конструкции.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) крепей и обделок определяют с помощью струнных датчиков, измеряя относительные деформации в месте их установки. Затем, зная относительные деформации, вычисляют напряжения. В бетонных и железобетонных конструкциях напряжения вычисляют по специальной методике с учетом загрузения бетона в раннем возрасте и его ползучести.

Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное применение датчиков (деформометров) внутри конструкций (**рис.1 а**) и измерение деформаций внутреннего контура, начиная с момента их возведения.

Такая система позволяет контролировать качественное и количественное изменение напряженно-деформированного состояния крепи на всех этапах раскрытия тоннеля на полное сечение (**рис.1 б**). Сопоставление величин напряжений в крепи с деформациями внутреннего контура для конкретного сечения позволяет с меньшими затратами оценить несущую способность на остальных участках тоннеля, ограничиваясь только

контролем деформаций внутреннего контура [4].

Наиболее сложные инженерно-геологические условия были при строительстве тоннельных комплексов №5 и №6. Геологический разрез, который пересекают тоннельные комплексы, характеризуется большим разнообразием пород, представленные магматическими, осадочными метаморфизованными и неметаморфизованными стратифицированными образованиями мезозойского возраста. Участки тоннелей, представленные углистыми сланцами, редкими линзами аргиллитов, песчаников и маломощными (1-5 до 60м) телами различных порфиритов, глинами, требовали значительной материалоемкости крепления. Сланцы от низкой прочности до прочных. В тектонических зонах перетерты до крупнопесчаной фракции из листочков сланца и зерен кальцита. При воздействии воды быстро переходят в глинистое мягкопластичное состояние.

Основным отрицательным фактором при строительстве тоннелей пятого и шестого тоннельных комплексов являются мощные (глубиной до 60м и более) врезывающие четвертичных отложений, приуроченные к древним водотокам, берущим начало от хребта Аибга. При большом (30-50%) содержании крупнообломочной фракции (преимущественно порфиритов и метаморфизованных аргиллитов) породы, особенно на контакте с коренным склоном, легко приобретают подвижное состояние при постороннем воздействии.

Контроль напряженно-деформированного состо-

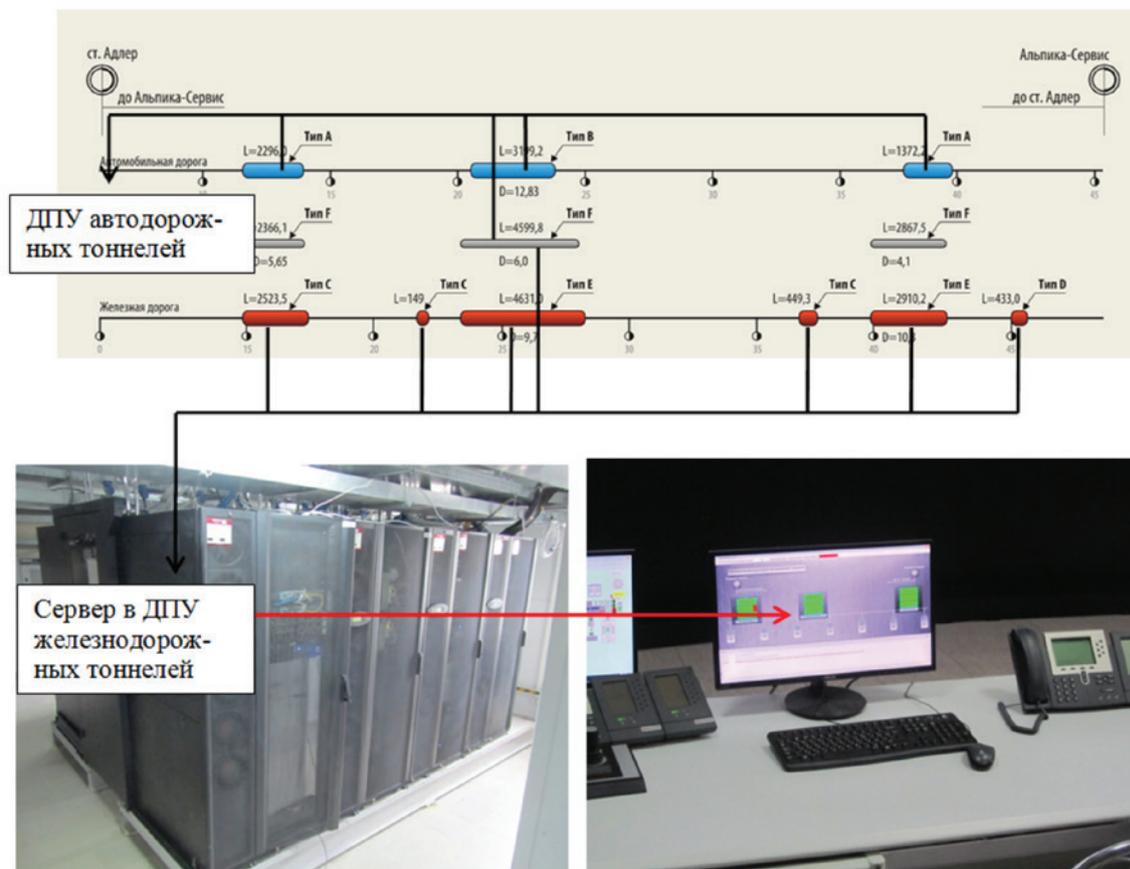


Рис. 2. Принципиальная схема сбора контролируемых параметров с систем мониторинга транспортных тоннелей, передачи на серверы мониторинга для обработки и визуализации на АРМе в диспетчерской

яния крепей (аркобетонная крепь с применением двутавров I27 и I30 с дополнительной установкой двух арматурных арок между стальных арок) автодорожного тоннеля №3 (в составе тоннельного комплекса №5) показал, что сжимающие нормальные тангенциальные напряжения в бетоне калоттной части достигали 27 МПа, а в штроссовой части до 11 МПа. На достаточно протяженном участке тоннеля со стороны северного портала зафиксированы значительные растягивающие напряжения (до 7 МПа) на внутреннем контуре с нагорной стороны. Такое распределение напряжений указывает на существенную величину бокового давления с нагорной стороны при достаточном отпоре с противоположной стороны, что было подтверждено распределением величин деформаций внутреннего контура крепи. После раскрытия калоттной части деформации на отдельных участках достигали 150-200 мм, а после проходки штроссовой части увеличивались до 350 мм, что потребовало последующего «перекрепления» перед возведением постоянной обделки.

Реологические свойства аргиллитов негативно отразились и при строительстве железнодорожного тоннеля №1 со стороны северного портала. Замачивание массива сказалось на незатухающем увеличении напряженно-деформированного состояния крепи вплоть до возведения постоянной обделки (**рис.16**). Раскрытие тоннеля на полное сечение (после разработки штроссовой части) значительно увеличило скорость приращения напряжений и деформаций внутреннего контура (смещения достигали 100 мм). Разработка проекта усиления набрызгбетонной крепи с арматурными арками дополнительной анкерной крепью, представленной самозабуривающимися анкерами MAI SDA ф.“Atlas Copco” позволила значительно уменьшить смещения крепи и обеспечить проектное сечение тоннеля к моменту возведения постоянной обделки.

Безусловно наиболее сложные участки, выявленные по трассе тоннелей при строительстве, являются потенциально опасными и при эксплуатации. Но как контролировать такие участки при эксплуатации, можно

ли полагаться только на визуальные осмотры? Ведь и практики передачи информации от строительной организации в эксплуатирующую организацию о «сложных» участках строительства нет.

Вся контрольно-измерительная аппаратура, размещенная в обделках "Олимпийских" тоннелей подключена к автоматизированной системе геотехнического мониторинга, позволяющей контролировать напряженно-деформированное состояние обделки в режиме реального времени.

Геотехнический мониторинг в составе АСУ ТП эксплуатации транспортных тоннелей на участке «Адлер – горно-климатический курорт «Альпика-Сервис» [5], состоит из:

- контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) обделок;
- оценки устойчивости системы «обделка — массив» методом ЕЭМИ;
- сейсмомониторинга.

Информация с контрольно-измерительной аппаратуры 9 (девяти) тоннелей в режиме реального времени поступает на серверы мониторинга в здание диспетчерской по автомобильной дороге и в здание диспетчерской по железной дороге. После обработки поступающих данных информация визуализируется на отдельном АРМе, расположенном на столе перед диспетчером (рис.2), осуществляющего контроль всех автоматизированных

систем безопасной эксплуатации тоннелей.

Контроль напряженно-деформированного состояния обделок выполняет определение величин нормальных тангенциальных напряжений в обделке и их сопоставление с расчетными величинами.

Оценка устойчивости системы «обделка — массив» методом ЕЭМИ производит регистрацию вариаций поля ЕЭМИ с целью контроля развития геодинамических процессов во времени [6] в зонах разупрочнений (места установки датчиков ЕЭМИ были определены при строительстве тоннелей по профилированию поля ЕЭМИ в процессе горнопроходческих работ и возведения постоянной обделки).

Сейсмомониторинг позволяет фиксировать амплитудно-частотные характеристики сейсмособытий в различных частотных диапазонах — от 0 Гц до 6000 Гц. Ускорения смещений, измеряемые трехкомпонентными акселерометрами, позволяют определить дополнительные величины напряжений в обделке в моменты сейсмособытий и суммировать их с показаниями датчиков НДС обделки. В моменты сейсмособытий на АРМ диспетчера выводятся результаты в баллах по шкале MSK-64.

Наиболее ценным в реализованной системе геотехнического мониторинга с точки зрения эксплуатации является возможность прогноза технического состояния обделки тоннеля на основе автоматически формируемой

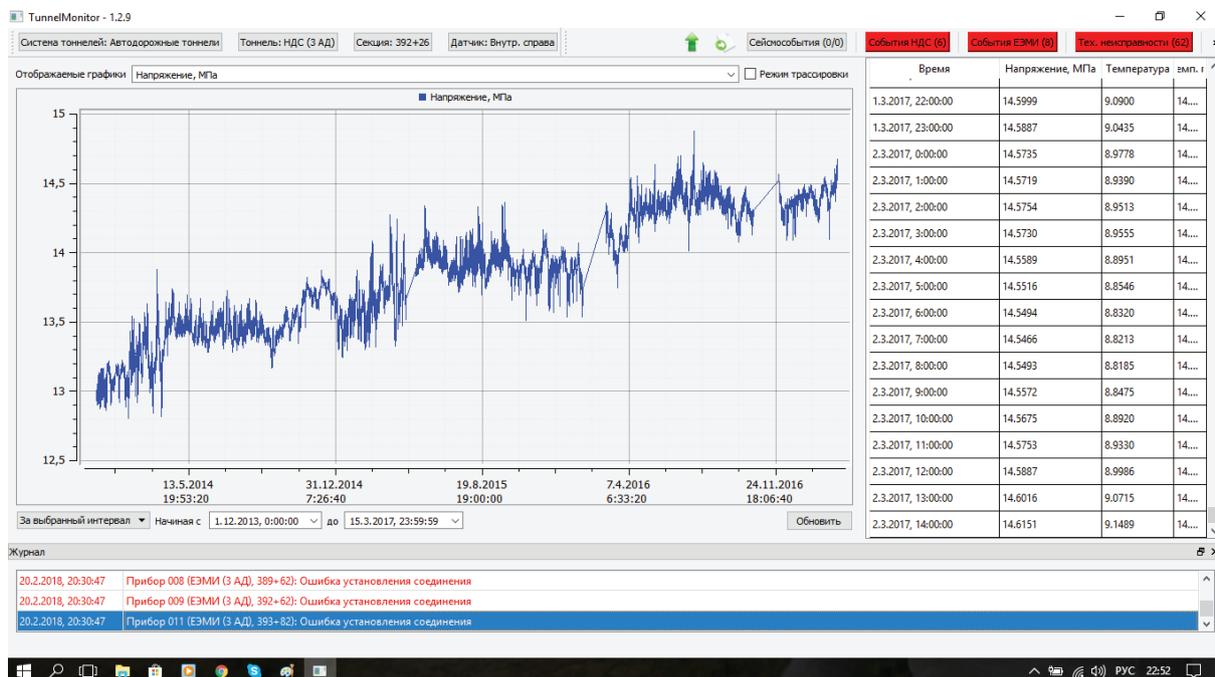


Рис. 3. Визуализация нормальных тангенциальных напряжений на внутреннем контуре обделки автодорожного тоннеля №3 на ПК 392+26



базы данных.

К примеру, на **рис.3** показан график формирования напряжений в обделке автодорожного тоннеля №3 по одному из датчиков. Трехлетний интервал наблюдений позволяет отметить, что кроме сезонных температурных градиентов, присутствует увеличение напряжений в обделке от «горного давления». Несмотря на количественные показатели напряжений, которые находятся в пределах «нормальной» работы бетона, качественное изменение свидетельствует о продолжении этого процесса с линейной скоростью.

В обделке тоннелей рассматриваемой трассы размещены сотни датчиков для контроля ее напряженно-деформированного состояния во всех литологических разностях. При их установке учитывались все тектонические нарушения и разломы, выявляемые при проходке. Впервые созданная в РФ в сейсмически опасном районе, автоматизированная система контроля НДС обделки тоннелей в сочетании с системой контроля напряженного состояния вмещающего массива (ЕЭМИ) и системой сейсмомониторинга, способны контролировать и прогнозировать техническое состояние системы «обделка — вмещающий массив» на всем протяжении тоннелей.

Существующий в настоящее время перечень работ по

обеспечению эксплуатации функциональных тоннельных систем, включающий:

- эвакуационные выходы,
- противопожарную защиту и тушение пожаров,
- дорожное полотно,
- тоннельную обделку,
- порталы,
- дренажную систему, гидроизоляцию,
- теленаблюдение,
- очистные сооружения,
- припортальные водоотводные устройства,
- вспомогательные подземные выработки и АСУ ТП, не в полной мере удовлетворяет обеспечению безопасной эксплуатации тоннелей.

Помимо перечисленных работ в перечень обязательных мероприятий должен быть включен геотехнический мониторинг, позволяющий решать задачи по оценке напряженно-деформированного состояния системы «обделка — вмещающий массив», в том числе с учетом тектонических процессов, контроля гидростатического давления и работы дренажных устройств, контроля оползневых припортальных склонов.

Список литературы:

1. ОДМ 218.3.003-2010 «Методические рекомендации по содержанию автодорожных тоннелей»
2. Безродный К.П., Гендлер С.Г., Исаев Ю.С., Лебедев М.О., Иофис М.А. О методическом руководстве по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. Труды международной научно-технической конференции «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов. Москва, 2010г. - с. 18-20.
3. ОДМ 218.4.022-2015 «Рекомендации по проведению геотехнического мониторинга строящихся и эксплуатируемых автодорожных тоннелей».
4. Безродный К.П., Лебедев М.О. Горно-экологический мониторинг при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей Северного Кавказа // Интернет-журнал «Науковедение», 2014 №5 (24) [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014 -.- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik5/24.pdf>, свободный.
5. Безродный К.П., Культин И.В., Лебедев М.О. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) в железнодорожных тоннелях Олимпийской трассы // Наука и транспорт. – 2009. С. 24-26.
6. Исаев Ю. С., Лебедев М. О., Басов А. Д., Романевич К. В., Шляев С. А. Характерные изменения спектров электромагнитного излучения при контроле напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №11. С. 29 – 36.

ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»
г. Санкт-Петербург
+7 (812) 316-20-22, (812) 571-20-22
lmgmt@lenmetro.ru
www.lenmgt.ru



средних мостов — 940 шт., больших мостов — 195 шт., всего мостов — 2297, общая длина мостов — 96,1 км. Тоннелей всего — 11, в т.ч. Байкальский — 6725 м. Мысовые на озере Байкал: 1 — 387 м., 2 — 1832 м., 3 — 850 м., 4 — 1235 м., Северомуйский — 15 337 м., Кодарский — 2040 м., Нагорный — 1240 м., Дуссе-Алиньский — 1807 м. (восстановлен).

На Северомуйском обходе, который был построен в качестве временного (на период строительства Северомуйского тоннеля) обходного пути через Северомуйский хребет, построено два петлевых тоннеля №1 длиной 2139 м., №2 — 752 м. Общая длина тоннелей БАМа составила 34344 м.

Пропускная способность БАМа, строившегося с большими перерывами с 1938 года, а в активной фазе с 1974 по 1984 год, в настоящее время составляет около 16 млн. тонн. Но из-за инфраструктурных ограничений наблюдается острый дефицит провозной и пропускной мощности, и поэтому с растущими объёмами перевозок в зоне Восточного полигона, БАМ в нынешнем состоянии уже не справляется.

В 2013 году ОАО «РЖД» приступило к реализации проекта модернизации железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона с развитием пропускных и провозных способностей. В 2013 году, в рамках программы модернизации БАМа (строительство вторых главных путей) ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» приступил к проектно-изыскательским работам по новому Байкальскому тоннелю второго пути, второго по протяженности тоннеля в стране. Главное для нового тоннеля — повысить эксплуатационную надёжность и пропускную способность железнодорожного участка на перегоне Дельбичинда — Дабан Восточно-Сибирской железной дороги.

Байкальский тоннель расположен в районе перевала Даван Байкальского хребта, вытянутого с севера на юг. Максимальная отметка перевала 994 м, а гольцовых вершин севернее и южнее его до 2000 м. Абсолютные отметки по оси тоннеля изменяются от 760 до 1110 м. Максимальное превышение хребта над тоннелем до 400 м. Хребет является главным водоразделом реки Лены и озера Байкал.

Территория строительства нового Байкальского тоннеля, находится в неблагоприятной геоморфологической ситуации, сложных и очень сложных геологических условиях, характеризующихся высокой тектонодинамической активностью и связанными с ней сейсмичностью и экзогенными процессами.

Поэтому необходимо было выполнить геодинамическое районирование территории, с целью выделения

элементов блочной структуры массива горных пород, установления динамического взаимодействия блоков, выделения активных разломов и определения степени их активности. Оценить напряженное состояние массива горных пород и выделить тектонически напряженные зоны и зоны, склонные к проявлению опасных процессов (в данном случае, горных ударов) на различных участках тоннеля.

Для оценки напряженного состояния горного массива, расположенного в районе нового Байкальского тоннеля, использован автоматизированный линеаментный анализ космических снимков. Он позволил выявить линеаментную структуру массива горных пород с активными и пассивными зонами геодинамических движений блоков земной коры различного масштабного уровня (зоны разрывных нарушений и трещин), которые характеризуют современное напряженно-деформированное состояние горного массива.

В результате проведенного геодинамического районирования было установлено, что основная часть тоннеля (северо-западная часть) находится в относительно стабильной геодинамической зоне, между зоной растяжения, приуроченной к долине рек Гоуджекит и Дельбичинда и зоной сжатия, расположенной выше тоннеля. Однако, положение тоннеля в узле пересечения двух активных диагональных разломов с северо-восточной и северо-западной ориентировками показывает, что в этой зоне возможны локальные концентрации напряжений и, вызванные этими напряжениями, подвижки горных пород (геодинамическая активность).

Юго-западная часть тоннеля частично попадает в зоны растяжения. В этой же области наблюдается аномальный участок повышенной плотности локальных линеаментов, что говорит о возможных локальных подвижках в этой области.

По результатам работ можно было сделать вывод, что проявление геодинамической активности в виде признаков проявлений горных ударов (шелушение, стреляние) в зоне расположения тоннеля маловероятно. Однако, положение тоннеля в зоне сочленения блоков, не исключает такую возможность. Выявленные сквозные линеаменты соответствуют современным активным зонам разрывных нарушений и трещин. Поэтому при расширении зоны сжатия и связанных с этим напряжений, а также с учетом сейсмичности района и склонности части породных включений к хрупкому разрушению при повышении напряжений, обусловленных техногенным воздействием в зоне строительства тоннеля, существует угроза проявлений геодинамических явлений в виде стреляний, сколов, обрушений и т.п. Это потребовало

организацию прогноза и контроля за проявлениями горного давления, особенно на аномальных участках.

В геологическом отношении рассматриваемый район относится к зоне регионального разлома или «Даванской зоне смятия», по которой сочленяется Прибайкальский краевой прогиб с Байкало-Витимским поднятием, зона протягивается от мыса Мужинай на озере Байкал в северо-восточном направлении через Даванский перевал до устья р. Абчада более чем на 200 км, при ширине зоны от 8-10 км до 20 км. Она была выделена в 1960-1961 г.г. М. П. Лобановым с соавторами.

В пределах Даванской зоны гнейсы, мигматиты и породы гранитоидного состава интенсивно катаклазированы, милонитизированы, местами преобразованы последующим субщелочным метасоматозом мезопротерозойского возраста. Степень мигматизации пород возрастает по мере сближения разломов.

Кроме того, горный массив, вмещающий подземное сооружение, осложнен наличием горных пород со сложными условиями залегания и обладающих различными физико-механическими свойствами, обилием разрывных нарушений, зон повышенной трещиноватости и дробления пород, мощностью от 10,0 до 250,0 м, где

отмечается различная по величине перемежаемость участков дробленых и участков разной степени трещиноватости пород. Дробленность пород часто до состояния дресвы и щебня. Эти зоны имеют сложный характер по литологическому и вещественному составу, а, следовательно, и по физико-механическим свойствам, слагающих ее образований.

Тоннели относятся к категории уникальных сооружений. Это технически сложный и дорогостоящий элемент строительной отрасли экономики страны. В этой связи в современных условиях придается исключительно большое значение использованию в подземном строительстве наиболее совершенных, научно обоснованных и экономичных технических решений в сфере конструкций, экологически эффективных технологий освоения подземного пространства, комплексной механизации и автоматизации строительства.

Знание неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий — это научная основа для решения прикладных задач при проектировании, строительстве и безопасной эксплуатации транспортных сооружений. Поскольку именно инженерно-геологические условия определяют сложность строительства ин-



Рис. 2. Бурение скважин станком горизонтального бурения ДИАМЕК-262

женерных сооружений в транспортном строительстве, и недостаточно полное изучение и не учет инженерно-геологических и гидрогеологических условий района строительства может привести к негативным последствиям.

Существующие методы инженерной геологии не всегда способны обеспечить полноту данных для определения геотехнических свойств массивов горных пород и поэтому инженерно-геологические исследования для проектирования и строительства особо опасных и технически сложных сооружений, к которым относятся тоннели, требуют, как правило, нестандартного и индивидуального подхода, который должен учитывать, как особенности самого тоннеля, так и перечень и сложность вопросов, на которые необходимо ответить по результатам изыскательских работ.

Для геологических исследований «Ленметрогипротранс», совместно с ТО-12 «Бамтоннельстрой» были использованы станки горизонтального бурения ДИАМЭК-262. Скважины бурились колонковым способом из действующей разведочно-дренажной штольни в сторону проектируемого тоннеля под углом 17-200 от оси штольни (Рис. 2).

Общее количество скважин составило 54 шт., протяженностью до 150,0 м, общим метражом 6658 м, выход керна около 100 %. Полученный материал дал возможность значительно повысить детальность изученности геологического строения и гидрогеологических условий по трассе тоннеля, в результате чего значительно уточнен петрографический состав и физико-механические свойства горных пород, изучены тектонические нарушения.

Методами современного инженерно-геологического исследования горных пород установлены связи между физико-механическими свойствами и закономерности формирования этих свойств. В соответствии с этим, внесены изменения в инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительства тоннеля.

В геологическом строении территории прохождения тоннеля (Рис. 3) принимают участие милонитизированные и интенсивно катаклазированные породы многофазного Ирельского комплекса гранитоидов среднего протерозоя, слагающие Кунермский массив, в пределах которого различают пять последовательных фаз его становления. Каждая фаза внедрения характеризуется

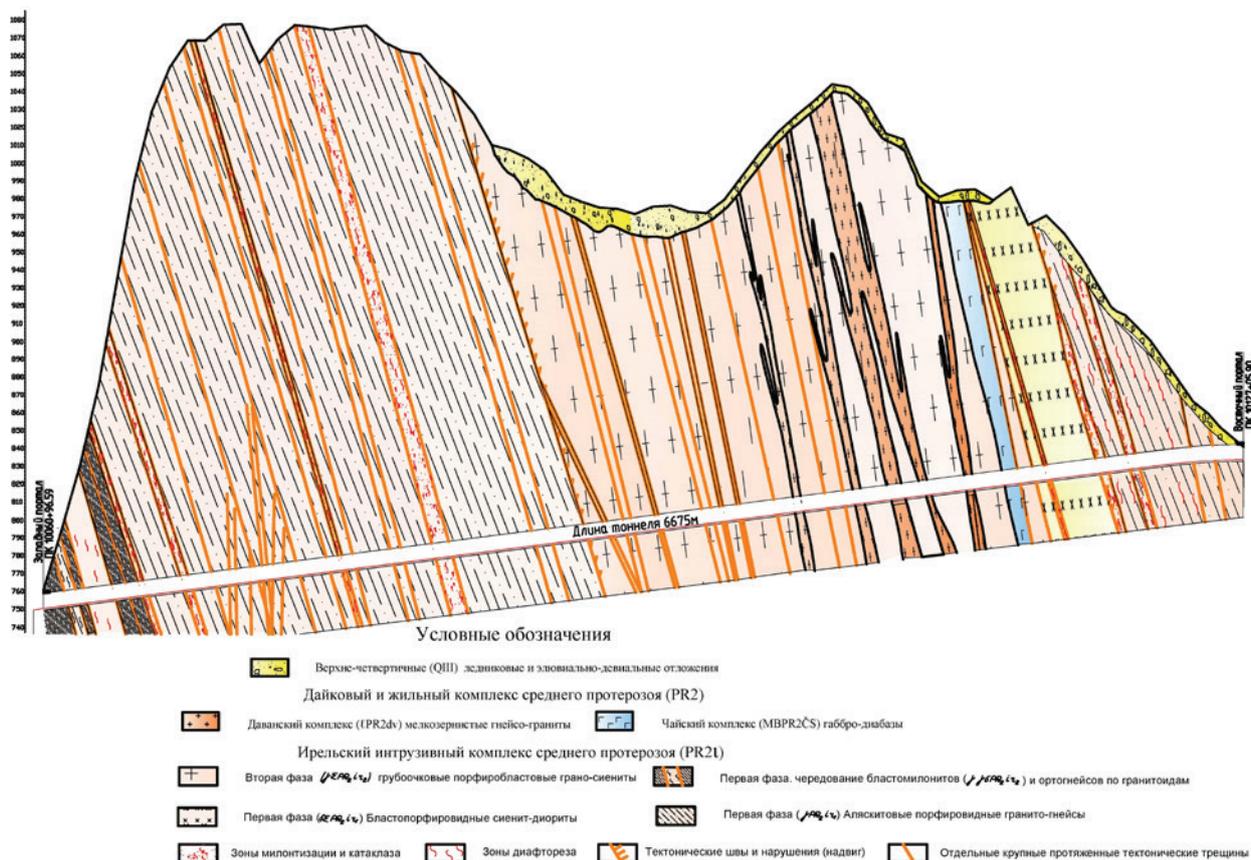


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез по трассе нового Байкальского тоннеля

собственным типом горных пород: первая — гранодиоритами, вторая — граносиенитами, третья — ортоклазовыми гнейсами, четвертая — диорит-сиенитами, пятая — порфировидными гнейсогранитами. (Лобанов и др., 1964; Донская и др., 2003).

Ирельский интрузивный комплекс впервые был выделен в Прибайкалье в 1956-58 г.г. Л. И. Солопом. Возраст Ирельского интрузивного комплекса, как среднепротерозойский определяется взаимоотношением гранитоидов с эффузивно-терригенной толщей хибеленской свиты (Pt2) и терригенными образованиями Байкальского комплекса (Pt3).

В разрезе магматических пород, отмечается широкое проявление тектонических дислокаций и разнообразный геохимический состав. Тектонические дислокации выражаются в смятии пород в наклонные складки, с падением крыльев под углом 25-35° и проявлением гнейсовидности.

Недостаточная изученность горного массива на ранних этапах исследований, вследствие сложности и многообразия условий проявления магматизма в протерозойских структурах, вызвала необходимость углубленного геологического, петролого-геохимического

и минералогического изучения данных образований.

Интенсивное поднятие и связанная с ним активизация глубинных разломов, окаймляющих Прибайкальский краевой прогиб, создали благоприятную обстановку для интрузивной деятельности. Произошло внедрение многофазного плутонического интрузива (Ирельский комплекс). Оно происходило в сложной тектонической обстановке, что отразилось в различной структуре этих пород, различной морфологии их тел и пространственном распределении последних.

Внедрение и формирование массива первой фазы (гранодиориты) происходило в более или менее спокойной обстановке медленного поднятия, которая нарушилась общей активизацией тектонических движений. Последние наиболее интенсивно проявились в зонах региональных разломов, особенно в Даванской зоне. В результате этих движений возникли разломы северо-западного простирания, являющиеся опережающими Даванской зоны смятия. Заложение разломов сопровождалось блоковым движением по ним. Последние выразились в огнейсовании пород первой фазы вдоль разломов северо-западного простирания. Ориентировка гнейсовидности вблизи Даванской зоны полно-



Рис. 4. Врезка нового Байкальского тоннеля. Западный портал

стью совпадает с ее простиранием (меридиональное). Вблизи же северо-западных разломов гнейсовидность имеет северо-западное направление. Падение гнейсовидности полностью совпадает с падением плоскостей смещения по этим нарушениям.

Основные тектонические нарушения северо-западного простирания имеют целую гамму оперяющих трещин широтного, северо-западного и реже северо-восточного простирания.

Таким образом, после внедрения и формирования крупного массива первой фазы активизировались разломы, окаймляющие прогиб с запада и востока, и заложилась разломы северо-западного простирания с системой оперяющих зон. Внедрение последующих интрузивных фаз Ирельского комплекса происходило уже в жесткий, консолидированный массив первой фазы и потому строго контролировалось зонами дизъюнктивных нарушений. Пространственная приуроченность гранитоидов второй фазы тяготеет к Даванской, в пределах которой породы второй фазы образуют пластообразные тела, вытянутые согласно простиранию зоны, т.е. субмеридионально. Это позволяет сделать вывод о том, что Даванская зона активизировалась полностью во время внедрения пород второй фазы.

Во время внедрения третьей фазы открылись разломы северо-западного простирания, но Даванская зона была в это время в какой-то мере залечена внедрившимися по ней гранитоидами второй фазы.

Гранитоиды третьей фазы пространственно приурочены к разломам северо-западного простирания и западной зоне регионального разлома, по которой краевой прогиб сочленяется с платформенными сооружениями. Третья фаза образует небольшие по размерам, вытянутые согласно простиранию зон штокообразные тела.

После внедрения гранитов третьей фазы область тектонических подвижек сужается и их проявление фиксируется только в пределах Даванской зоны смятия. Направление тангенциальных сил приобретает широтный характер, что отчетливо подчеркивается развитием бластических структур с субмеридиальным направлением. Фиксируются проявления тектоники по интенсивной перекристаллизации и бластомилонитизации гранитоидов второй фазы Ирельского комплекса, а также по развитию в пределах зоны крупных инъекционных залежей порфировидных сиенито-диоритов четвертой фазы, явно приуроченных к ослабленной зоны.

Завершающим этапом среднепротерозойского тектоно-магматического цикла явились тектонические движения в Даванской зоне, выразившейся в изменении (разгнейсовании и милонитизации) гранитоидов

четвертой фазы в приконтактных частях их тел, также движения сопровождались внедрением гранитов пятой фазы Ирельского комплекса, с которыми связано широкое развитие мигматизации, и процессов инфильтрационного и диффузионного метасоматоза. Образуются довольно крупные, вытянутые в субмеридиальном направлении тела.

Из большого количества тектонических нарушений Даванской зоны можно выделить наиболее характерные:

1. Надвиговые зоны распространены в западном предпортальном участке, где они имеют мощность 5-10 м.

2. Зоны интенсивного дробления и милонитизации пород связаны с Кунермским надвигом — крупнейшей дизъюнктивной формой тектонической структуры района, ограничивающий с запада Даванскую зону смятия. Надвиг протягивается с юго-запада на северо-восток и проявляется в рельефе в виде уступа на западном склоне хребта. Породы в зоне надвига представлены милонитами и брекчиями. В районе тоннеля по Кунермскому надвигу проходит граница между первой и пятой фазами Ирельского комплекса.

3. Швы неотектонических движений, их выделяется

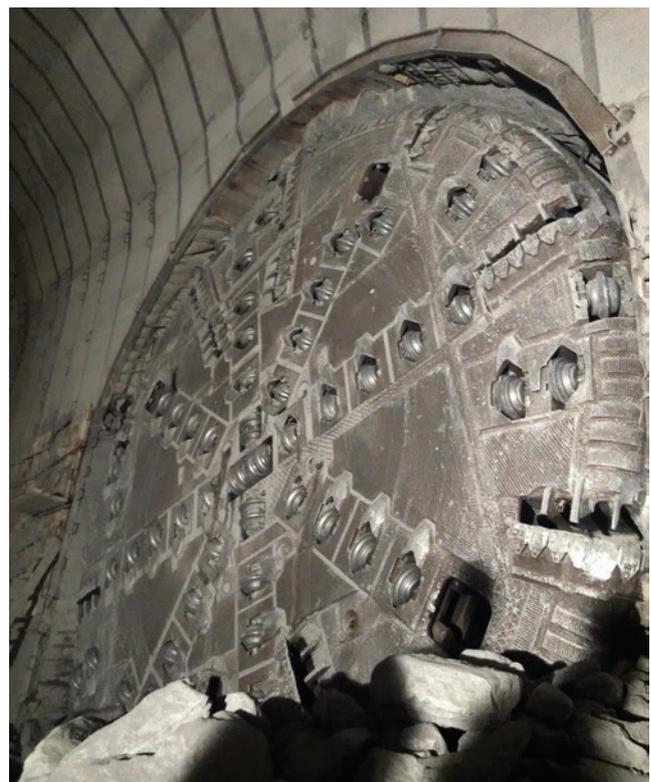


Рис. 5. Выход ТПМК Lovat RM394DS в околоствольную выработку



до шести, хорошо выражены в рельефе в виде уступов и фиксируются по керну разведочных скважин, а также геофизическими методами. Неотектонические движения Даванской зоны смятия проявились в блоковых смещениях и в подновлении подвижек, по ранее существующим швам нарушений, имеют главенствующее значение в формировании современного рельефа, в виде поднятия хребта и опускания впадин. Амплитуда перемещения по швам неотектонических разломов составляет первые десятки метров.

В настоящее время сейсмическая активность в регионе продолжается, подвижки в новейшее время сопровождаются образованием зон брекчированных пород.

Согласно результатам выполненного микросейсмо-районирования на участке строительства возможны сотрясения с преобладающими периодами от 0.1 до 0.6 с, и интенсивностью до 8.5 баллов.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы: основные научные и практические результаты выполненных ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» инженерно-геологических исследований заключаются в следующем:

1. Изучалось геологическое строение, условия образования, петрография района, дана инженерно-геологическая оценка состава и строения гранитоидов Ирельского комплекса в Даванской зоне смятия.

2. Изучалось состояние горного массива (в том числе и геодинамическое), то есть выявлялась тектоническая нарушенность горных пород, активность и направленность тектонических движений, дизъюнктивная нарушенность тектонических зон.

3. Оценивались инженерно-геологические условия проходки тоннеля с выделением участков с наиболее

сложными условиями проходки.

4. Результатом комплексных работ явились структурно-тектонические карты, и инженерно-геологические разрезы, с выделением на них обводненных зон повышенной трещиноватости, выделены разрывные нарушения и участки возможного распространения опасных геологических процессов.

5. По результатам научно-исследовательских и инженерно-геологических работ, и на основании обработки всей имеющейся геологической информации, были даны инженерно-геологические условия строительства нового Байкальского тоннеля.

6. Суммируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: разработанные методы отдельных видов работ, материалы и объемы выполненных геологосъемочных, горнопроходческих и геофизических работ, позволили принять принципиальные проектные решения, которые значительно снизили риски строительства тоннеля в сложных горно-геологических условиях.

В 2014 году началось строительство нового Байкальского тоннеля на перегоне Дельбичинда-Дабан Восточно-Сибирской железной дороги 1006 км — 1013 км участка Усть-Кут — Северобайкальск (**Рис. 4**). На начало марта 2018 года тоннель пройден полностью.

Проходка однопутного тоннеля осуществлялась параллельно существующему, тоннелепроходческим механизированным комплексом Lovat RM394DS диаметром резания 10,02 м (**Рис. 5**), с монтажом сборной железобетонной обделки. Для проходки дренажных штолен, стартовой и приемной камер тоннеля использовался буровзрывной способ, с применением буровых установок Sandvik DC 120, Axera T11-215.

ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»
г. Санкт-Петербург
+7 (812) 316-20-22, (812) 571-20-22
lmgmt@lenmetro.ru
www.lenmgt.ru

Использование щебеночных и песчаных свай для усиления слабых грунтов основания транспортных сооружений

ООО «ГЕОИЗОЛ»

Долгов П.Г., начальник геотехнического отдела

Betterground GmbH

Деген Уильем

Технология устройства щебеночных применяется для увеличения несущей способности грунтов основания проектируемого сооружения, предотвращения возможной потери устойчивости основания, уменьшения деформаций и времени стабилизации деформаций, для предотвращения возможности разжижения и потери прочности грунтов при сейсмическом воздействии.

Щебеночные сваи — тип обработки грунта глубокой вибрацией с подачей щебня на дно формируемой

через песчаные и гравелистые грунты с частичным их уплотнением.

Технологический процесс устройства щебеночных свай включает в себя следующую последовательность (рис. 1):

1. Глубинный вибратор погружается с помощью вибрации и подачи воздуха (иногда с минимальной подачей воды под давлением для прохождения плотных слоев),
2. Щебень вводится через специальный привод

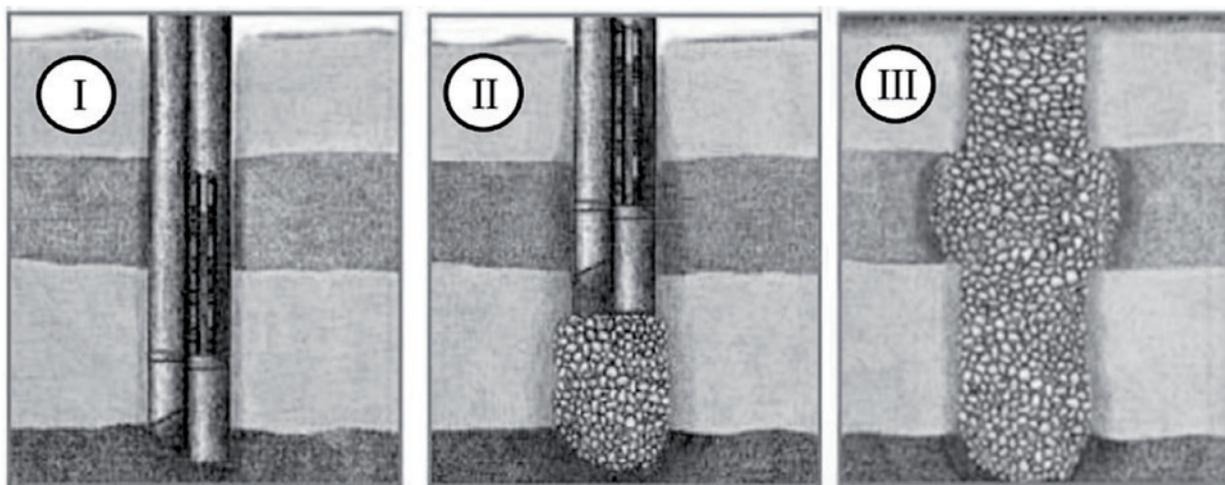


Рис. 1. Последовательность изготовления щебеночных свай

скважины, при которой глубинный вибратор используется для создания непрерывных колонн из щебня с заданными длиной и диаметром.

Устройство щебеночных свай выполняется в широком диапазоне инженерно-геологических условий, при наличии в основании глин и пылевато-глинистых грунтов, слабых глинистых грунтов и торфов. При использовании технологии возможно прохождение

вдоль вибратора под давлением сжатого воздуха,

3. Виброинструмент совершает возвратно-поступательные движения, уплотняя щебень и постепенно перемещаясь вверх формирует тело сваи.

Щебеночные сваи не являются отдельно несущим элементом, как например сваи выполненные из бетона. При устройстве щебеночных свай происходит



увеличение прочностных характеристик массива грунта, в пределах которого выполняется усиление, вследствие чего значительно увеличивается его несущая способность и устойчивость. Устройство свай позволяет уменьшить значение деформаций основания от 2 до 6 раз. Щебеночные сваи представляют собой массивные дрены, вследствие чего при строительстве в условиях залегания в основании медленноуплотняющихся водонасыщенных глинистых грунтов значительно уменьшаются сроки стабилизации деформаций.

Сечение щебеночной сваи полученное в результате уплотнения ограничивается объемом расходного материала, временем уплотнения и характеристиками исходного грунта. Диаметр формируется в процессе работы и не является жестко ограниченным. Таким образом возможно формирование щебеночной сваи переменного сечения в зависимости от задачи, например увеличения диаметра сваи в слабых грунтах прочностные свойства которых требуется улучшить и уменьшение сечения в плотных песчаных и гравелистых грунтах. Под действием нагрузки на усиленное основание происходит увеличение щебеночной сваи в сечении, при этом возникает дополнительное давление на грунт в межсвайном пространстве, вследствие чего он уплотняется.

При строительстве в крайне слабых глинистых грунтах (значение сопротивления недренированному сдвигу менее 5 кПа), устройство щебеночных свай может комбинироваться с технологией устройства геосинтетических дрен, используемых для предварительной консолидации и уплотнения основания.

При изготовлении щебеночных свай используется специальное оборудование, так называемый виброфлот — глубинный вибратор диаметром от 290 мм до 460 мм, подбираемый в зависимости от поставленной задачи. Для подачи уплотняемого материала под нижний конец оборудования, к вибратору крепится специальный привод. Существует возможность крепления оборудования на экскаватор, копровую установку и кран.

Оборудование позволяет выполнять устройство свай на глубину от 3 до 30 м, при необходимости усиления грунтов на большую глубину возможно изготовления оборудования специально под проект.

При уплотнении щебеночная свая достигает диаметра от 0,6 м до 3,5 м в зависимости от задачи и грунтовых условий площадки строительства. В качестве материала уплотнения используется щебень фракции 5-50 мм, так же возможно использование песка.

Необходимо отметить высокую производитель-

ность устройства щебеночных свай, которая составляет от 200 до 400 метров погонных за смену.

Данная технология положительно зарекомендовала себя при усилении слабых грунтов, на множестве объектов по всему миру, в том числе успешно реализована компанией ООО «ГЕОИЗОЛ» при усилении основания насыпи сложенного слабыми заторфованными грунтами на участке скоростной автомобильной дороги Москва — Санкт-Петербург — М11, при усилении слабых глинистых грунтов при создании искусственного земельного участка на территории Крестовского острова в Финском заливе, при устройстве опытной площади в условиях залегания с поверхности заторфованных грунтов на глубину до 7 м на объекте «Строительство автомобильной дороги А-121 «Сортавала» и других объектах.

При производстве работ по устройству щебеночных свай выполняется оперативный контроль качества изготовления с помощью панели управления. Регистрируется глубина, сила тока, давление воздуха, отклонение свай по вертикали, дата и время, объем подаваемого материала. Полученные данные позволяют судить о качестве выполнения работ, по результатам формируется паспорт каждой сваи с указанием контрольных параметров и профилем сваи. С целью определения качества уплотнения основания могут выполняться натурные испытания фрагмента усиленного основания статической нагрузкой, испытания методом статического зондирования, одомерические испытания, испытания крыльчаткой и др.

Мировой опыт использования технологии усиления грунта путем глубинной вибрации насчитывает более 70 лет. При определении характеристик усиленного массива грунта используются известные аналитические методики расчета [1] признанные во всем мире. Для расчета деформаций, устойчивости и времени консолидации могут использоваться отечественные нормативные методики расчета [2,3,4,5], а так же современные программные комплексы с использованием метода конечных элементов. С целью стандартизации и нормирования проектирования и производства щебеночных свай, в 2005 году создан Европейский нормативный документ DIN EN 14731.2005 «Выполнение специальных геотехнических работ — Укрепление грунта путем глубинной вибрации» [6].

Устройство щебеночных свай по технологии виброуплотнения широко используется в мировой практике и зарекомендовало себя как надежный способ усиления основания проектируемых сооружений транспортной инфраструктуры.



Список литературы:

1. Heinz J.Priebe «The design of vibro replacement»
2. СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений»
3. СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов»
4. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги»
5. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83)
6. DIN EN 14731-2005. Execution of special geotechnical works — Ground treatment by deep vibration

Betterground GmbH
Germany, Schwindegg
+49 (8082) 271-31-35
info@betterground.de
www.betterground.com

ГК «ГЕОИЗОЛ»
г. Санкт-Петербург
+7 (812) 337-53-13
info@geoizol.ru
www.geoizol.ru

Технические особенности систем инженерной защиты от камнепадов и лавин компании Маккаферри

ООО «Габионы Маккаферри СНГ»

Горбачева Т.М., руководитель направления «Инженерная защита от камнепадов, лавин и селей»

В России и мире существует множество территорий, где совокупность природных особенностей (климат, геология, топография и т.д.) благоприятно сказывается на формировании таких опасных явлений как снежные лавины, камнепады и сели, поэтому расположенные в такой местности объекты инфраструктуры: населенные пункты, горнолыжные курорты, карьеры, автомобильные и железные дороги зачастую становятся уязвимы. В связи с этим возникает необходимость устройства защитных систем.

Компания Маккаферри уже более 60 лет занимается разработкой и внедрением систем инженерной защиты территорий, снижая риски во всех сферах: угрозы жизни человека, нанесения ущерба зданиям и инфраструктуре. В связи с этим важно, чтобы анализ необходимости устройства системы защиты от камнепадов, лавин и селей был выполнен комплексно, т.е. все ключевые факторы риска нашли свое отражение на стадии принятия технического решения.

Маккаферри предлагает различные решения для

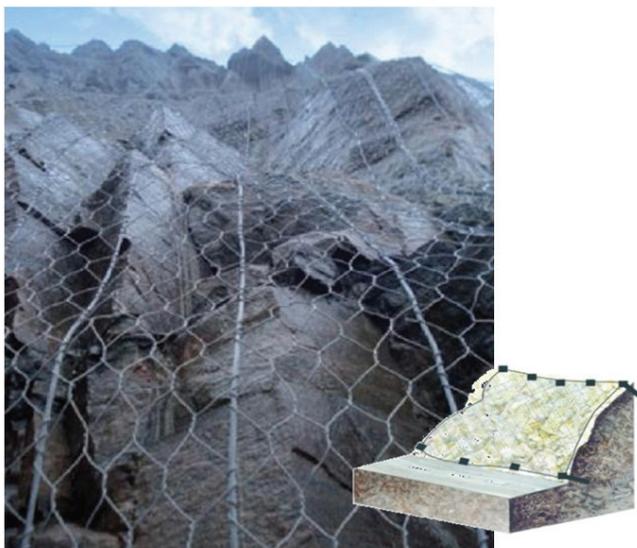


Рис. 1. Простая драпировка склонов

укрепления склонов с целью противокампнепадной защиты. Противокампнепадные сетчатые системы делятся на два типа:

1. Простая Драпировка, которая представляет собой сетчатое полотно, закрепленное анкерами по верхней кромке и по нижней (**рис.1**). Такое решение представляет собой наиболее экономически выгодный вариант защиты от камнепадов. Упавшие обломки тормозятся сетчатым заслоном и собираются у подножия склона, образуя «карманы», которые периодически можно вычищать.

2. Драпировка с дополнительным армированием (анкерное крепление осуществляется не только по верхней и нижней кромкам, но и по всей поверхности склона с определенным шагом) (**рис.2**). Шаг, диаметр, длина тип анкеров задаются расчетным путем на стадии проектирования и зависят главным образом от геологии и морфологии склона.

Запатентованной системой драпировки компании Маккаферри является Стилгрид, который подходит как



Рис. 2. Драпировка с дополнительным армированием

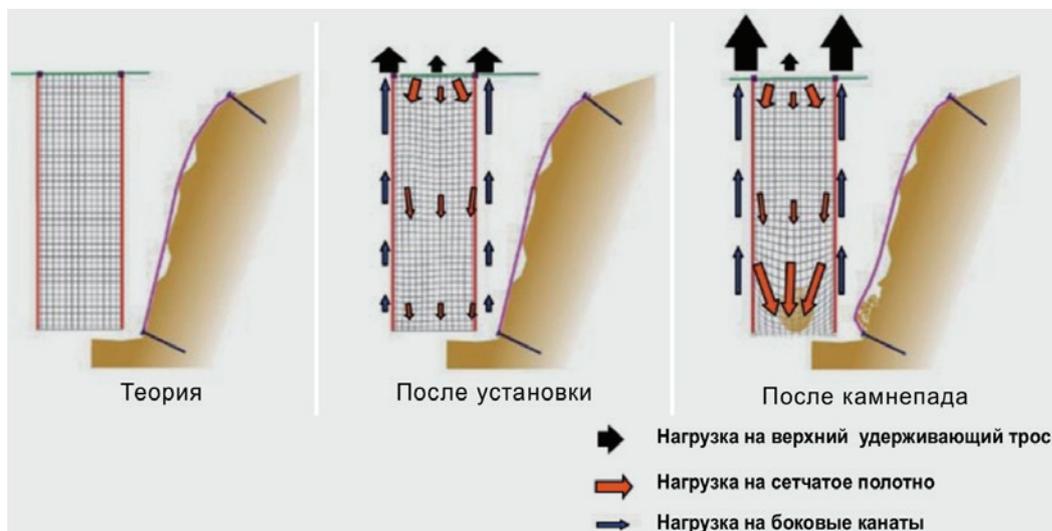


Рис. 3. Силы, действующие на сетку двойного кручения с вплетенными стальными канатами.

для простой, так и для драпировки с армированием.

Стилгрид HR (Highly Resistant, от англ. «высокопрочный») представляет собой полотно из сетки (проволока 3,0мм) двойного кручения с шестиугольными ячейками (80x100мм) и вплетенными в нее в продольном направлении стальными тросами диаметром 8,2 мм с шагом 30, 50, 100 и 150 см.

Данный материал имеет ряд преимуществ. Во-первых, в его основе лежит сетка двойного кручения, которая при разрыве одного звена не расплетается. Во-вторых, полотно в себе содержит стальные канаты, которые принимают на себя основные нагрузки. Силы, действующие на простую сетку (без вплетенных в полотно канатов):

- Под нагрузкой (собственный вес, обломки, снег) верхний удерживающий трос нагружен равномерно и сильно провисает между анкерами;

- Все полотно сильно растягивается вплоть до разрыва.

Совсем другая ситуация происходит в случае, если сетчатое полотно армировано стальными канатами (**рис.3**).

- За счет перераспределения нагрузок собственный вес сетки несущественен и может не учитываться;
- Под весом обломков и льда верхний трос нагружен в местах соединения с боковыми канатами и силы передаются анкерам. Трос не провисает;
- Сетчатое полотно частично нагружено, не происходит сильного растяжения (часть сил передается в боковые канаты и к верхним анкерам).



Рис. 4. Применение НЕА-панелей на сильнотрещиноватых склонах

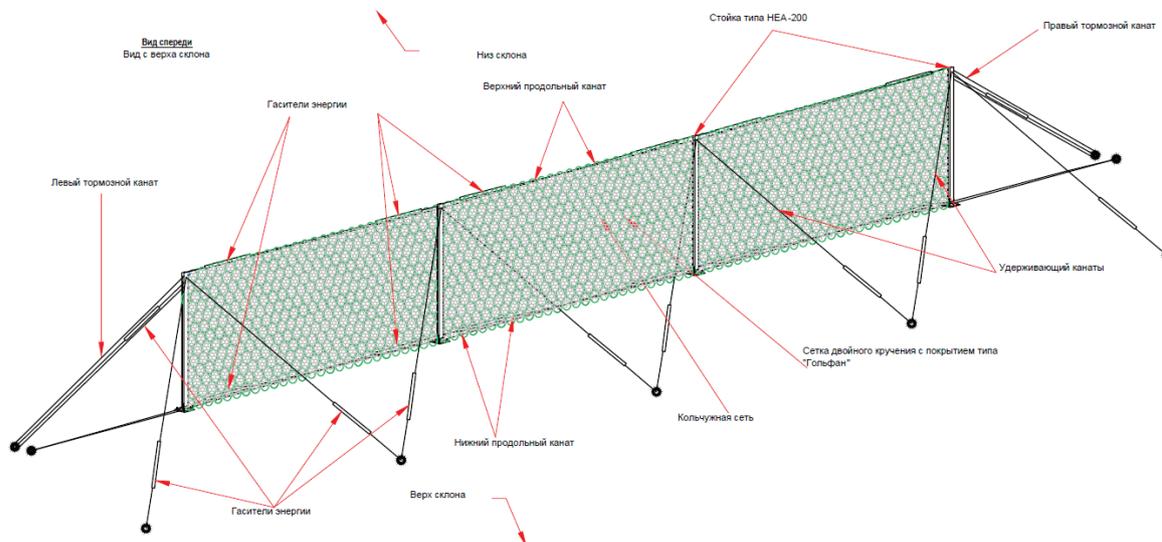


Рис. 5. Типовое строение Камнеулавливающего барьера RMC (Маккаферри)

СтилGRID ВО (bi-oriented, от англ. «двуосный») представляет собой сетку двойного кручения и имеет канаты не только в продольном направлении, но и в поперечном. Шаг продольных канатов: 150 см. Шаг поперечных канатов: 150, 200 или 300 см. СтилGRID ВО имеет преимущество, заключающееся во внедрении дополнительных поперечных канатов в структуру сетки, что увеличивает прочность всей драпировки. Данный материал позволяет экономить на строительно-монтажных работах за счет удобства производить анкеровку в местах пересечения канатов.

HEA-Панели (High Energy Absorption) представляют собой плетеные стальные канатные панели с высоким поглощением энергии, применяемые для создания систем защиты от камнепадов в качестве драпировки

сильнотрещиноватых скально-обвальных участков с дополнительными анкерами. Стальные тросы сделаны из проволоки с плотным цинковым покрытием, также могут иметь покрытие типа «Гальфан» или ПВХ для применения в наиболее агрессивной среде. Канатные панели имеют высокую степень защиты и предназначены для укрепления крутых откосов с высокой трещиноватостью пород (**рис. 4**). Панели получили мировое признание в укреплении карьерных выработок [1].

Панели рассчитаны на длительные статические нагрузки. Нагрузка от одного стыкового узла передается равномерно на все полотно и тем самым происходит распределение и погашение энергии. Панели являются лучшей альтернативой кольчужной сетке, но при этом гораздо проще в монтаже и не оказывают такого утяже-



Рис. 6. Камнеулавливающие барьеры RMC перед автодорогой

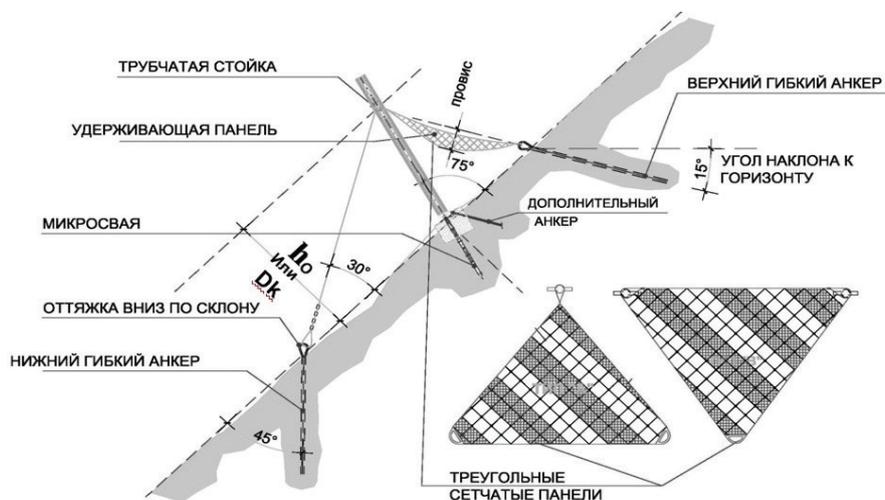


Рис. 7. Типовой разрез и основные компоненты снегоудерживающего барьера ОМ-СУБ

ляющего эффекта на склон (что особенно актуально при наличии глубоких трещин и блоков отседания). Тяжелая кольчужная сеть — действительно самый прочный сетчатый материал. Прочность на разрыв, в зависимости от характеристик материала, может варьировать от 200 до 1000 кН/м. Однако такие силы практически не возникают в условиях статических нагрузок на естественных склонах (в то время как драпировка устанавливается именно для цели статического удержания неустойчивой части склона). Кольчужная сетка идеально подходит для устройства динамических камнеулавливающих и селеулавливающих барьеров в качестве лицевой панели, которая может поглощать кинетическую энергию несущихся с большой скоростью обломков вниз по склону. Но в качестве дра-

пировки склонов и статической нагрузки данный материал не способен раскрыть свой потенциал прочности, а, следовательно, не может в полной мере оправдать себя. По мере эксплуатации драпировки, обломки со временем выдавливаются или накапливаются в «карманах». НЕА-панель имеет максимальную жесткость и фиксирует обломки и блоки на месте, в то время как кольчужная сетка имеет очень сильное удлинение, сильно растягивается и не удерживает склон в стабильном состоянии.

В зависимости от индивидуальных характеристик защищаемого склона, а также бюджета предприятия может быть предпочтителен тот или иной тип драпировки.

Камнеулавливающие барьеры являются наилучшим решением, когда имеются слишком большие площади не-



Рис. 8. Снегоудерживающие барьеры ОМ-СУБ (СТН-ОМ) вдоль Западно-Сибирской железной дороги.



стабильных или труднодоступных склонов и невозможно точно установить место отрыва обломков, но необходимо защитить конкретный объект.

Для этого важно их расположить в нужном месте, чтобы остановить движение обломка или, в крайнем случае, погасить его кинетическую энергию и снизить скорость.

Барьеры обычно устанавливаются у подножия крупных скальных массивов, склоны которых невозможно полностью покрыть драпировкой.

Нагрузка, действующая от каменных блоков на барьер, распределяется между стойками равномерно, тем самым минимизируя напряжение на отдельные его элементы, а система поглощения энергии работает не за счет трения, а за счет деформации сменных энергогасителей и обеспечивает эффективность и длительный срок службы конструкции. Подобная конструкция барьера может устанавливаться практически на любом склоне (вне зависимости от уклона и подстилающей поверхности). Каждая модель барьера имеет свои конструкционные особенности (рис. 5).

Для защиты объектов инфраструктуры от лавин инженерами компании «Маккаферри» разработаны гибкие **снегоудерживающие барьеры ОМ-СУБ (СТР-ОМ)**. Они представляют собой стальные гибкие конструкции, обеспечивающие непрерывное длительное сопротивление статическим нагрузкам, обусловленным давлением снежных масс на удерживающее полотно. Данный тип снежных барьеров является наиболее легким, что

упрощает монтажные работы и меньше всего оказывает эстетическое влияние на ландшафт [2]. В связи с тем, что данная конструкция имеет шарнирное соединение стоек с фундаментом, она может легко реагировать на изменение нагрузок в течение всего снежного периода, хорошо адаптируется к морфологии склона и способна выдерживать динамические нагрузки (падение каменных обломков и ледяных глыб).

Высота барьера должна соответствовать показателю h_0 [3] (в Европе — D_k [4]) (рис. 7). Этот параметр равен максимальной высоте снежного покрова на данном участке горного склона (в частности, в местах зарождения лавин). Снегоудерживающие барьеры СТР-ОМ имеют широкое применение в Европе и Америке, а так же хорошо себя зарекомендовали как надежная защита от лавин в России на различных объектах РЖД (рис. 8). Барьеры этой серии успешно прошли сертификацию Швейцарским Институтом снега и лавин в Давосе и имеют Российские сертификаты.

Основываясь на международном опыте применения конструкций инженерной защиты компания Маккаферри в России ведет активную работу по внедрению четкого системного подхода к обеспечению безопасности инфраструктуры и жизни людей от опасных геологических процессов. Все конструкции и материалы компании адаптированы к индивидуальным особенностям нашей страны и производятся из отечественного сырья на заводах в г.Кургане и г.Зарайске.

Список литературы:

1. Горбачева Т.М. Защита от камнепадов в горнодобывающем секторе. Журнал Инженерная защита. Раздел Проекты, стр. 48-53.
2. Горбачева Т.М. Инженерная защита от лавин. Типы и особенности снегоудерживающих конструкций. Журнал Дороги. Инновации в строительстве. Август, 2015, май-апрель 2015, стр. 84-86.
3. Defense structures in avalanche starting zones (technical guideline as an aid to enforcement). WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF (Davos). Bern, 2007. 134 p.
4. ВСН 02-73. Указания по расчету снеголавинных нагрузок при проектировании сооружений. М., Московское Отделение Гидрометиздата, 1973.

ООО «Габियोны Маккаферри СНГ»
г. Москва
+7 (495) 108-58-84
info@ru.maccaferri.com
www.maccaferri.ru



Современное состояние проблемы определения параметров грунта при инженерно-геологических изысканиях для математического расчета оснований зданий и сооружений в условиях плотной застройки (на примере г. Москвы)

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ РГГРУ)

Кулешов А.П., аспирант кафедры инженерной геологии

Горбцов Д.Н., к.г.-м.н., доцент, декан Гидрогеологического факультета

В инженерной-геологии работают со специфическим, далеко не простым материалом, с меняющимися свойствами и геометрией расположения структурных элементов. Мы имеем дело с грунтами — экстремально сложной физической реальности. Что бы понять эту физическую реальность, мы пытаемся описать ее поведение на математическом языке. Модель позволяет нам интерпретировать полевые и лабораторные данные.

Инженерно-геологические изыскания — информационная основа для проведения геотехнических расчетов с использованием моделей механики грунтов, на основании которых принимаются проектные решения по устройству фундаментов зданий и сооружений [1].

В настоящее время в ходе изысканий определение необходимых параметров грунтов производится в разных объемах и с разной целью в зависимости от стадии проектирования. При решении сложных геотехнических задач все чаще применяются программные комплексы на основе метода конечных элементов. Применение таких комплексов требует особого внимания к моделям грунтового основания и назначения параметров. Предлагается ввести вводные данные — свойства грунта, которые фигурируют как более или менее привычные характеристики грунта, предоставленные инженерно-геологическими изысканиями, а затем начать процесс моделирования и получения результата. Однако на фоне этого, остается скрытым процесс, которые заложен в основу модели описывающей поведение системы «сооружение-основание» и расчетчику остается уповать на результаты, выдаваемые машиной и доверять ее результатам [2].

Ориентация на разнообразную и расплывчатую

информацию, недобросовестность исполнителя изысканий, ведет к заложению больших коэффициентов запаса в проектных решениях проектировщиками, для исключения ошибочных решений и аварий.

Сегодня многие не любят проводить испытания грунтов, а бурят скважины, определяют плотность, влажность и строят геологические разрезы. Механические свойства грунтов, которые используются в расчетах, принимают по таблицам СНиПов и ГОСТов [5]. Эти данные являются справочными, табличными и носят предварительный характер оценки напряженно-деформированного состояния. Получив информацию лишь о деформационных характеристиках невозможно обеспечить высокую точность расчетов. Это может работать лишь в определенных, упрощенных геологических условиях площадки строительства. Возникает проблема отсутствия достоверных данных о физико-механических свойствах грунтов. Улучшить метод расчета напряженно-деформированного состояния и получить достоверное описание системы «сооружение-основание» можно лишь более точно описав объект, поведение грунта, представляющего собой сложную многофазную дисперсную систему.

В связи с огромными темпами роста городов — мегаполисов (г. Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург) и отсутствием достаточного места для строительства, наличием очень плотной застройки, усложнением инженерно-геологических условий, проблема оценки напряженно-деформированного состояния приобретает актуальное значение.

Для наглядного представления данной ситуации рассмотрена локальная литотехническая система вза-

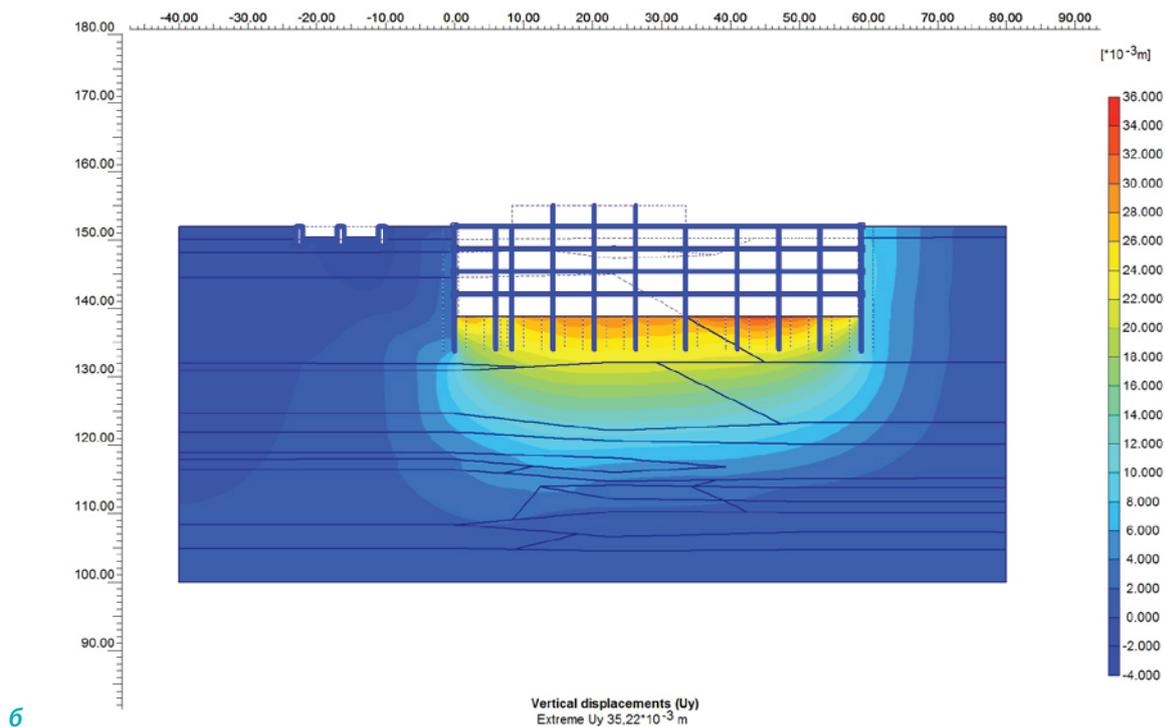
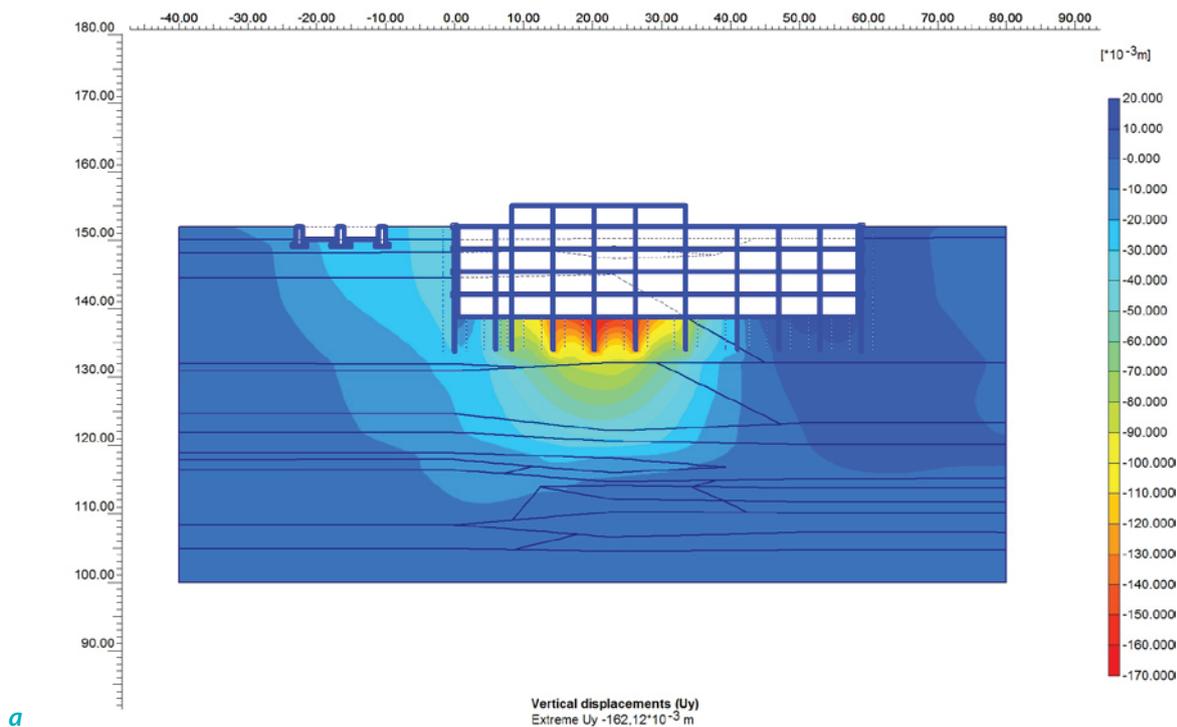


Рис. 1. Изополя вертикальных деформаций грунтового массива для жилого и проектируемого зданий, со значениями механических свойств: а) табличные; б) истинные

имодействия «основание — грунт» в условиях плотной застройки на территории г. Москвы (проектируемый многофункциональный комплекс по адресу ул. Ходынская вл.2; жилое здание по адресу ул. Ходынская д.4 и здания главного производственного корпуса по адресу ул. Ходынская вл.2) и проведено сопоставление данных полученных при моделировании с данными многолетних мониторинговых наблюдений, и расчетами традиционного метода послойного суммирования (СП 22.13330.2016 [5]), при этом математические расчеты проведены как с значением табличным параметров, так и определенных.

Согласно техническому заданию, на площадке изысканий проектируется строительство многофункционального комплекса (адресу ул. Ходынская вл.2), состоящего из 2-х 38-ми этажных зданий с единой 6-ти уровневой подземной автостоянкой с заглублением от существующих планировочных отметок на 25,0м, предполагаемый тип фундаментов — монолитная железобетонная плита на естественном или свайном основании. Здание главного производственного корпуса (ул. Ходынская вл.2), одно-четырёхэтажное, круглое в плане, с подвалом, 1931 года постройки, с несущими колоннами и несущими стенами, фундаменты стен ленточные, бутовые, фундаменты колонн — отдельностоящие, монолитные железобетонные. По адресу ул. Ходынская, д.4 — жилой девятиэтажной дом с подвалом и техническим этажом, построен в 1969 году, в плане прямоугольной формы, фундаменты ленточные, из сборных бетонных и железобетонных элементов.

В геоморфологическом отношении участок строительства приурочен к поверхности третьей (ходынской) надпойменной террасы р. Москвы.

Геологический разрез изучен на глубину до 80 м и представлен комплексом отложений различного возраста и генезиса. Нижняя часть разреза сложена мощной толщей известняков среднекаменноугольного возраста (С2мс-рd), малопрочных и средней прочности. Большую часть разреза занимают закономерно чередующиеся пачки известняков, мергелистых глин и мергелей позднекаменноугольного возраста (С3). Выше залегают ниже-среднечетвертичные флювиогляциальные и лимногляциальные отложения донского-московского межледниковья (f,lgldns-llms) представленные песками мелкими и пылеватыми, насыщенными водой, плотными и супесями пластичными. Они перекрыты среднечетвертичными аллювиально-флювиогляциальными отложениями (a,f3llhd), представленными разнотекстурными песками с линзами гравийно-галечного грунта, малой степени водонасыщения. С поверхности повсеместно залегают современные техногенные отложения.

В толще грунтов основания вскрыты два водоносных горизонта. Подземные воды напорные, с величиной напора 24,7-27,7м.

Согласно расчетам деформаций окружающей застройки методом послойного суммирования (СП

22.13330.2016 [5]) осадки сооружений без учета строительства для жилого дома по адресу ул. Ходынская, д.4 — 2,70 см, здание главного производственного корпуса ул. Ходынская вл.2 — 1,90 см; а с учетом строительства 2,80 см и 2,05 см соответственно. Глубина зоны взаимодействия по адресу ул. Ходынская, д. 4 составляет от веса жилого здания 12,76 м, а с учетом строительства многофункционального комплекса — 13,50 м; для производственного сооружения по адресу ул. Ходынская, вл. 2 от веса самого сооружения — 10,20 м, а с учетом строительства — 10,50 м.

По результатам инструментальных геодезических наблюдений (мониторинга) за окружающей застройкой установлено, что осредненные суммарные осадки большинства стальных марок для жилого дома по адресу ул. Ходынская, д.4 без учета строительства — 0,20 см, здание главного производственного корпуса ул. Ходынская вл.2 — 0,40 см; а с учетом строительства 0,60 см — ул. Ходынская, д.4 и 0,70 см — ул. Ходынская вл.2.

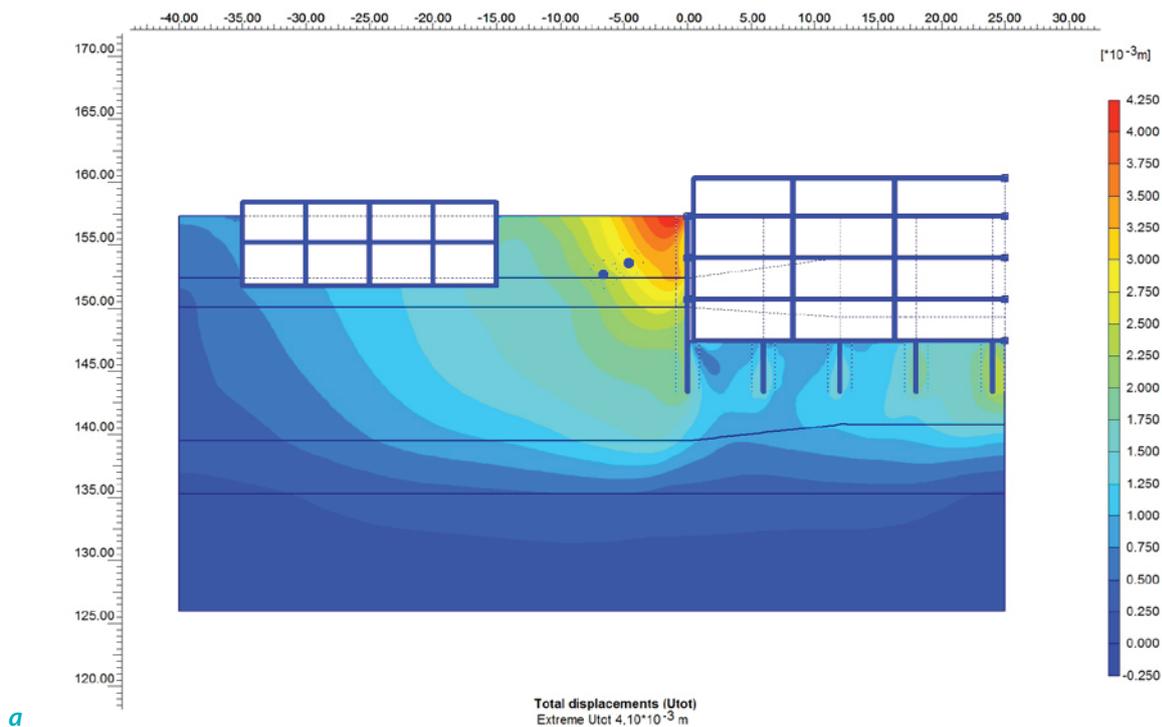
Для количественной прогнозной оценки влияния возможных проектируемых мероприятий на существующее напряженно-деформированное состояние грунтового массива выполнено математическое моделирование геотехнических условий на программном комплексе Plaxis 8.2, апробированном при строительстве большого числа строительных объектов в Европе. Расчет проводится по модели Кулона-Мора. В расчетах деформаций использовались значения механических свойств, определенных двумя разными способами: а) — по таблицам СП 22.13330.2016, или «табличные»; б) — экспериментально — лабораторными и полевыми методами на площадке, или «истинные».

Ниже представлены изополя вертикальных деформаций грунтового массива после приложения всех действующих нагрузок проектируемого многофункционального комплекса совместно с имеющимся зданием (жилой зданием — **рис. 1** и производственным зданием — **рис. 2**).

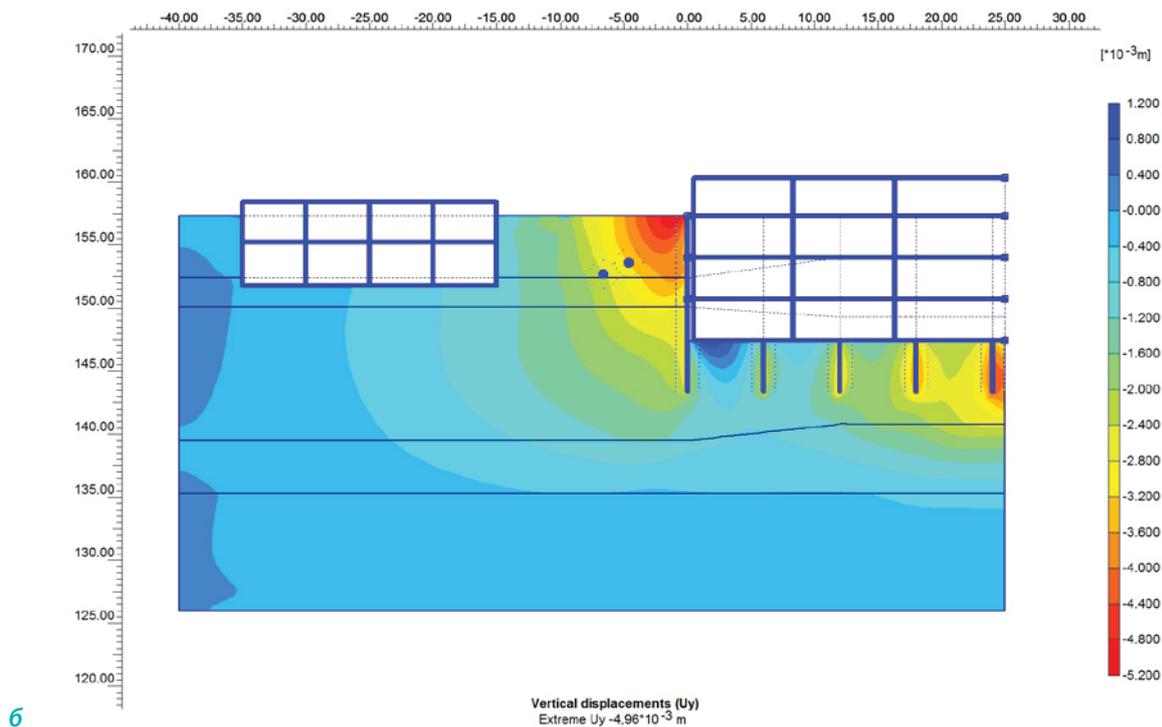
Результаты расчетов с помощью программного комплекса Plaxis 8.2 приведены в таблице № 1.

Анализируя полученные результаты следует отметить, что расчет осадки грунтовых оснований традиционными методами дает завышенную в 5–10 раз величину деформаций по сравнению с данными натурных наблюдений, отклонения расчетных деформаций от фактических составляют 30–50%. На современной ступени развития науки следует пользоваться более современными способами расчета деформаций, а именно математическим моделированием. Программный комплекс Plaxis 8.2 дает результаты близкие с мониторинговыми данными (натурными наблюдениями), только при входных параметрах, полученных непосредственно на площадке, а не из справочных пособий.

Необходимо, чтобы инвестор заказал более подробные геологические изыскания с определением специальных параметров сложных моделей механики грунтов



a



б

Рис. 2. Изополя вертикальных деформаций грунтового массива для производственного и проектируемого зданий, со значениями механических свойств: а) табличные; б) истинные

Таблица 1. Величины осадок, определенные разными методами

Наименование объекта	Метод определения осадок, см						Данные мониторинга	
	Метод послойного суммирования (СП 22.13330.2011)		PLAXIS 8.2					
	Без учета нового строительства	С учетом нового строительства	Без учета нового строительства		С учетом нового строительства		Без учета нового строительства	С учетом нового строительства
			Параметры грунта					
		Табличные	Истинные	Табличные	Истинные			
Жилое здание по адресу: ул. Ходынская, д. 4	2,70	2,80	0,32	0,25	0,52	0,65	0,20	0,60
Здание главного производственного корпуса по адресу ул. Ходынская, вл. 2	1,90	2,05	0,17	0,42	0,27	0,72	0,40	0,70

в трехосных испытаниях (в стабилометрах). Параметры модели должны определяться на основании сопоставления лабораторных и полевых испытаний грунтов с соответствующими тестовыми расчетами в рамках выбранной модели.

При отсутствии стабилометрических испытаний и задании характеристик грунтов в соответствии с рекомендациями разработчиков Plaxis математическое моде-

лирование можно использовать только для первичного моделирования поведения грунта. Необходимо уделить особое внимание разработке отечественных нормативов для определения коэффициентов Пуассона и бокового давления грунта в состоянии покоя, угла дилатансии.

Приведенные результаты моделирования подтверждают важность выбора грунтовой модели и расчетных параметров при проведении геотехнических расчетов.

Список литературы:

1. Тер-Мартirosян А.З., Мирный А.Ю., Соболев Е.С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // Геотехника. – 2016. – № 1. – С. 66–72.
2. Nikulina M.E., Gorobtsov D.N., Pendin V.V. Engineering and Geological Audit in Design and Construction of Linear Transport Facilities. Procedia Engineering. – 2017. – V. 189. – P. 70–74.
3. Mayne P.W. Keynote lecture: in-situ geocharacterization of soils in the year 2016 and beyond // Advances in Soil Mechanics: Geotechnical Synergy: Proc. 15th PCSMGE. – Buenos Aires, 2015. – Amsterdam: IOS Press, 2015. – V. 5. – P. 139–161.
4. Mangushev R.A., Konyushkov V.V., Dyakonov I.P. Analysis of Practical Application of Screw-in Cast Piles // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2014. – V. 51 (5). – P. 227–233.
5. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2011. – 166 с.
6. Strokova L.A. Numerical model of surface subsidence during subway tunneling // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2009. – V. 46 (3). – P. 117–119.
7. Plaxis. Material Models Manual. – Город: Изд-во, 2016. – 216 p.

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ РГГРУ)

г. Москва

+7 (499) 638-32-01

office@mgri-rggru.ru

http://mgri-rggru.ru

kuleshov@inzhgeos.ru

+7 (916) 932-26-05

dngorobtsov@mail.ru

+7 (926) 181-12-05



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

ЗАЩИТА ОТ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ



TRUMER

Schutzbauten

ЛАВИНЫ/КАМНЕПАДЫ/СЕЛИ/ОПОЛЗНИ

Норвегия (Мельхус, Скоймен)

Россия (Сочи)

Канада (Ванкувер,
Ниагарский водопад)

Германия (DB German Railway)

Австрия (Хинтертукс)



ISO 9001:2008
CERTIFIED



e-mail Russia@trumer.cc
тел: + 7 915 022 75 17

<http://www.trumer.cc>

«Стандартизация технологии ТИТАН в России»

Friedr. Ischebeck GmbH

Юнкер А., главный инженер геотехник

Состояние нормативной базы по технологии ТИТАН

Технология буроинъекционных свай ТИТАН была разработана компанией «Friedr. Ischebeck GmbH» более 30 лет назад. За долгий срок её существования было выполнено множество проектов и накоплен колоссальный опыт работы в различных геологических условиях, который непрерывно используется для совершенствования системы и освоения новых областей применения. За последние 10 лет она стала так же активно применяться на стройплощадках в России. Но несмотря на успешное распространение данной технологии на строительном рынке России, вопрос стандартизации оставался недостаточно проработанным. Хотя и существуют Технические Условия на продукцию и СТО различных организаций, которыми проектные организации пользуются, но разработаны они разными институтами и не синхронизованы между собой.

В отличие от ситуации в России на Западе нормативы, описывающие технологию ТИТАН существуют около 20 лет. Это стандарты EN 14199 и EN 14490, регулирующие применение её в качестве микросвай, анкерных свай или грунтовых нагелей. Они не только описывают технологический процесс изготовления, но и регулируют вопрос допустимых материалов, применяемых в конструкциях по данной технологии. Так как технология сама по себе уникальна и используемые материалы выполняют разные функции, а именно функцию бурового инструмента и последовательно армирующего элемента железобетонной конструкции, то и требования к материалам, в частности металлическому сердечнику, особые. Армирующий элемент, прошедший через процесс бурения в качестве бурового инструмента, на который особенно в сложных грунтах воздействуют колоссальные разрушающие нагрузки, должен оставаться пригодным к эксплуатации после его установки.

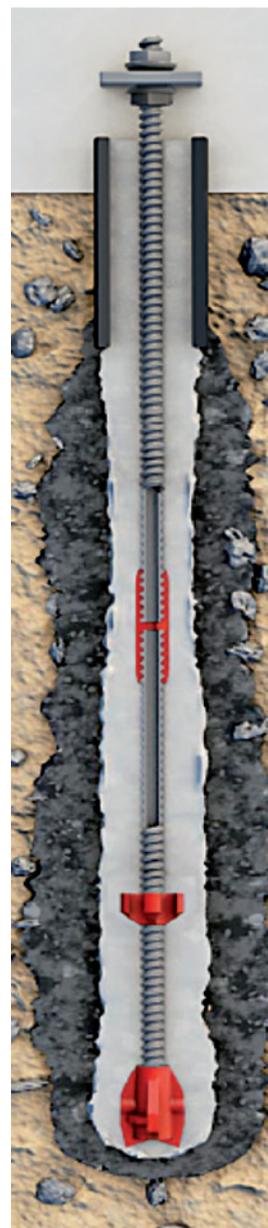


Рис. 1.



Рис. 2.

ПОСЛЕДСТВИЯ

Отсутствие надлежащей стандартизации в России повлекло за собой большой поток похожей продукции, не соответствующей техническим требованиям. А это повлекло за собой ряд аварийных случаев, дискредитирующих технологию в целом.

Основной причиной этому является использование не соответствующей марки стали. Основой конкурентоспособного освоения рынка, на котором уже существует лидер в данной сфере, является удешевление аналогичной продукции. В данном случае это возможно лишь за счет выбора дешевых марок стали, не соответствующих нормативам. На первый взгляд похожая продукция в определенных условиях не работает. Сталь уже под нагрузками при бурении теряет несущую способность. Причем если стальной элемент или муфтовое соединение очевидно ломаются, то это не самый худший вариант. Гораздо опаснее, если несущая способность при бурении теряется лишь частично, а срыв происходит уже во время эксплуатации конструкции.



Рис. 3.

ГОСТ Р 57342-2016 / EN 14199

С Июня 2017 г. вступил в силу новый стандарт ГОСТ Р 57342-2016. Он основан на европейском стандарте EN 14199. На данный момент он носит более информативный характер, но все же это первый документ такого уровня, регламентирующий технологию ТИТАН в России. Теперь у проектировщиков и заказчиков, заинтересованных в качественном и безопасном исполнении их проектных решений и защите их инвестиций, есть серьезный инструмент влияния на выбор подходящих к их потребностям материалов.

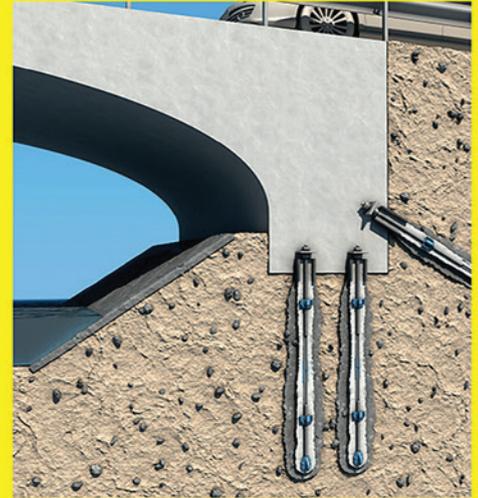
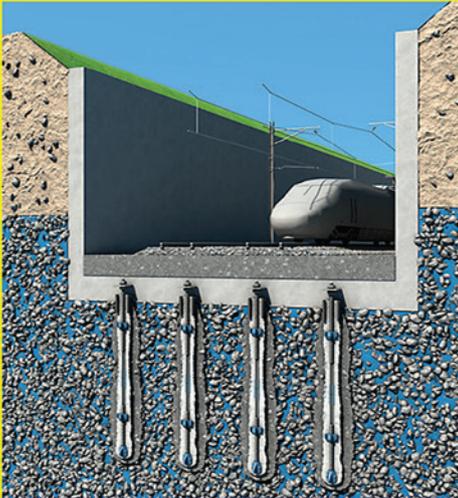
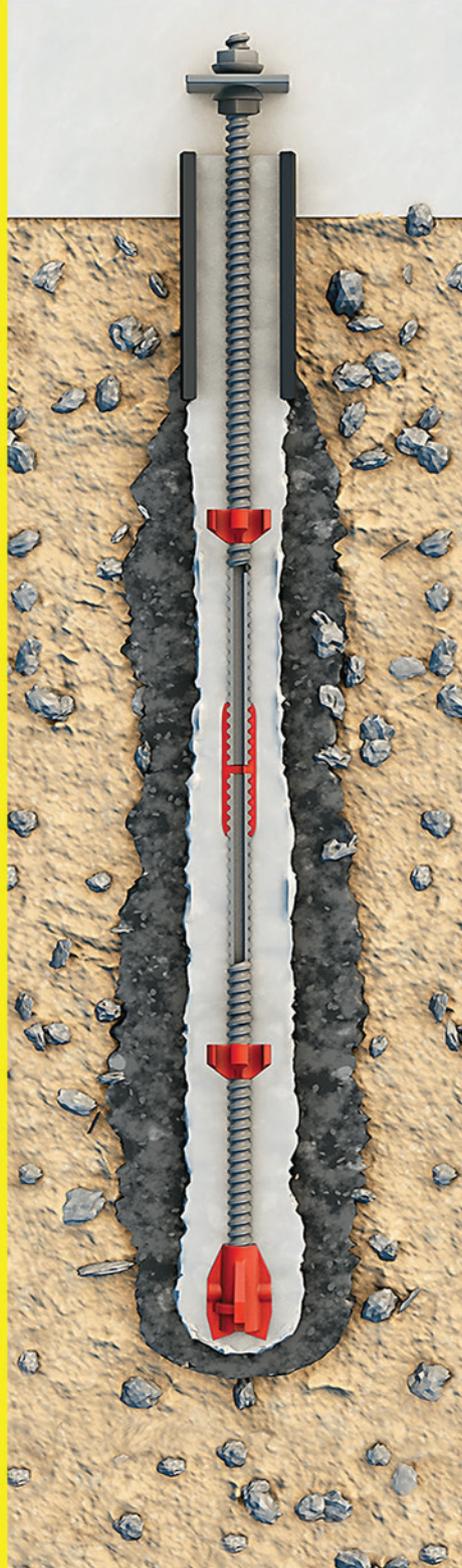
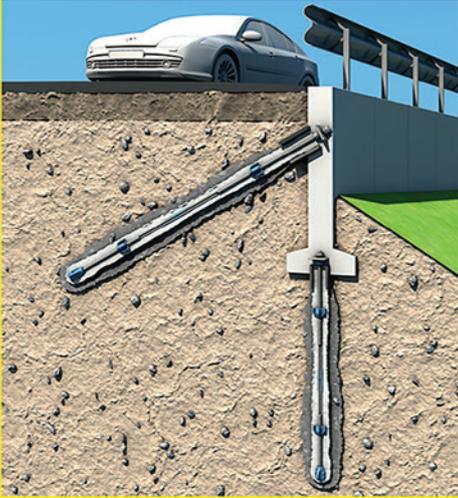
Для технологии ТИТАН это в определенной степени прорыв на российском рынке. Состояние нормативного вакуума усложняла технико-экономическое обоснование её более обширного применения на объектах в России. Но более важен вопрос надежности и безопасности этой технологии, так как она на 90 % применяется в качестве инженерной защиты объектов различного предназначения. Появление нового стандарта улучшит качество строительства в целом и повысит уровень надежности при эксплуатации объектов в России.

Представительство компании в России
ООО «Ишебек Титан»
г. Москва
+7 (495) 764-92-85
ischebeck@ischebeck.ru

FRIEDR. ISCHEBECK GmbH
Germany
Phone. +49 2333 83050
export@ischebeck.de
www.ischebeck.com

ISCHEBECK®

TITAN



У вас есть геотехнические проблемы?

**У нас есть надежное
и эффективное решение!**

PETROMODELING – независимая компания инженеров-исследователей, геотехников, проектировщиков и технических консультантов, предлагающая широкий спектр услуг для строительного комплекса.

Мы специализируемся на решении сложных и наукоемких задач на протяжении всего жизненного цикла объекта: на этапе вариантных проработок; на этапе инженерных изысканий и разработки проектной документации; на этапе строительства и эксплуатации.

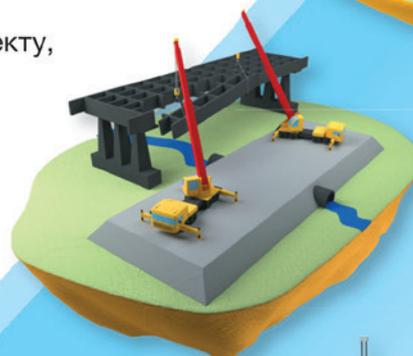
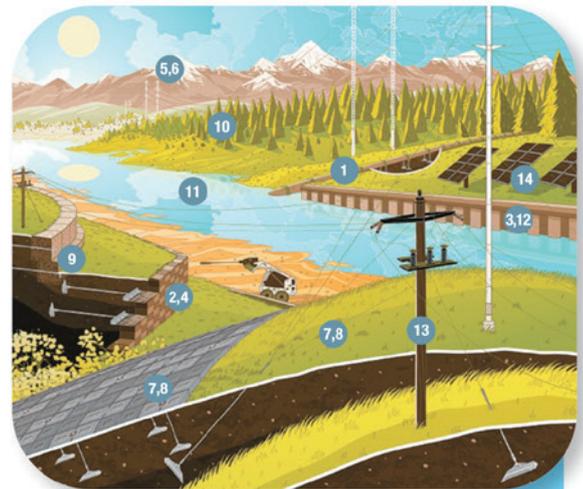
Наши средства достижения цели: высокая вариативность решений в комплексе с мероприятиями инженерной защиты территории, в том числе на основе трехмерного моделирования геотехнической среды; геотехнический мониторинг, мониторинг инженерных систем и строительных конструкций, в том числе на уровне программного обеспечения на всех этапах жизненного цикла.

Наш опыт позволяет работать на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах.

Мы работаем, применяя комплексный подход к объекту, оценивая эффективность решений на всех стадиях, начиная с изысканий и проектирования, заканчивая строительством и эксплуатацией.

Комплекс исследований, выполняемый нами, позволяет выделить основные конкурентоспособные варианты и выбрать оптимальный.

Строгое соблюдение международных стандартов качества, использование современных методов и новейшего программного обеспечения вместе со слаженной работой команды профессионалов позволяют нам решать самые амбициозные задачи.





Инженерная защита от воды. Проектирование в крупных масштабах. Проектирование инженерной защиты от подтопления и затопления водохранилища Багаевского ГУ

ООО «СОЮЗВОДПРОЕКТ»

Бойков О.И., генеральный директор

Шилов Д.С., начальник отдела автоматизации

Копылов А.С., начальник отдела гидрогеологии

Разработка стадии Проект системы инженерной защиты от затопления и подтопления создаваемым Багаевским водохранилищем.

Задача делилась на 2 части, защиту от затопления непосредственно по поверхности и защиту от подтопления прилегающих территорий, которое обеспечивал подпор водохранилищем местного УГВ.

В процессе работы обозначились подзадачи, которые требовали решения.

Первая — в качестве исходных картографических данных нам предоставлялась несогласованная, разрозненная и разнообразная по составу информация. Это были и отсканированные «планшеты» пяти масштабов, результаты нескольких партий воздушно-цифрового сканирования, топографические основы из разных источников, и масштабов, несколько видов спутниковых снимков. Каждая часть имела свою привязку (систему координат).

Размеры рассматриваемого участка в плане 37 x 87 км. Территория поймы нижнего Дона.

Вторая — необходимость интерактивного скоростного метода анализа информации при меняющихся исходных данных. Подзадачу лучше всего демонстрирует следующий пример количественного анализа: дать в табличной форме (XLS) геометрические и географические характеристики участков подтопления территории в диапазонах от 0 до 0,2 м и от 0,2 м до 1 м отдельно, образовавшихся при изменении НПУ на водохранилище на 0,8 м на территории 3 220 км². Дать информацию по сезонам на многоводный год, на момент через 10 лет после ввода в эксплуатацию, на момент, после прохождения паводка редкой повторяемости.

Третья — организация процесса проектирования. Потребовалось наладить новую систему коммуникаций

на техническом (ширина канала, облачные технологии, удаленное администрирование) и административном (создание общей коммуникативной среды) уровнях.

1. Картография.

Из описания модели видно, что для ее создания был использован гигантский массив информации. Для его консолидации, унификации использовался программный ГИС комплекс qGIS. Практически безграничные возможности комплекса позволили без существенных временных затрат собрать воедино для последующего анализа всю имеющуюся информацию: десятки растровых картографических слоев, точечные результаты проводимых гидрогеологических исследований, данные из геологических фондов и т.д. Кроме анализа собранных данных, qGIS использовался для обработки полученных результатов моделирования, а также для их визуализации и подготовки к печати.

Созданная на данном этапе ГИС Багаевский ГУ активно и постоянно использовалась при подготовке последующих разделов работы над созданием систем инженерной защиты. С ее помощью привязывались и перепривязывались массивы карт, происходил перевод данных из растра в вектор, производилась непосредственная работа с поверхностями — обрезка, создание, вычитание, параметризация. Наконец, qGIS помог создать основу для дальнейшего глобального анализа — 3D поверхность рельефа по всей пойме Дона. Таким образом была решена первая из подзадач и создан механизм для дальнейшей эффективной работы с данными практически любого типа.

2. Анализ

Вторая подзадача обозначилась при изменении НПУ в водохранилище. Для анализа изменений заново анализировалось 200 километров береговой линии по

новой границе затопления. Результаты надо было сравнить с предыдущими и дать количественную оценку этого сравнения.

На деле и рассматриваемая поверхность земли и свободная поверхность воды в водохранилище при заданном расходе — являются сложными 3-х мерными объектами. Чтобы отразить линию их пересечения (границу затопления) с минимальной невязкой, необходимо максимально адекватно построить обе поверхности, привязать их к одной системе координат и пересечь в какой-либо 3-х мерной среде.

В качестве исходных данных для построения свободной поверхности воды использовалась исходная гидрологическая информация - графики зависимости Q от h , построенные, в свою очередь с использованием 3-х мерной гидравлической модели. Свободная поверхность воды строилась по имеющейся кривой по принципу равномерно распределенного напора в программном комплексе AutoCAD Civil 3D.

Из полученного картографического материала, в программном комплексе qGIS, была создана общая рабочая поверхность — цифровая модель рельефа (ЦМР), площадью 3 220 км². В ее основу вошли данные воздушно-лазерного сканирования, топосъемка, масштабов 1:2000 и 1:500, гидрография и интерполированная из планшетов 1:25000, поверхность всей поймы рассматриваемого участка. При более разреженной триангуляционной сетке на границах ЦМР, в ее основной части, предполагаемой к размещению сооружений, сетка максимально сгущалась.

В упрощенной схеме процесс подготовки результата можно описать так. Из ГИС в AutoCAD Civil 3D в соответствующей системе координат портировалась ЦМР. В этой среде поверхности пересекались, создавалась 3-х мерная замкнутая полилиния, в плане представляющая собой зону затопления. Данные по полученным участкам, извлекались путем связанных активных таблиц и конвертировались в электронные таблицы XLS. Далее полученная линия отправлялась обратно в ГИС для окончательной обработки и добавления необходимой географической информации.

Таким образом был создан механизм, позволяющий адекватно, прозрачно и крайне оперативно получать нужную информацию, анализировать, обрабатывать и применять результаты анализа для дальнейшей работы в рамках проекта. К примеру, описанная во вводной части статьи задача, применяя данный механизм, решалась нами, на поздних стадиях проекта, за несколько часов.

3. Организация процесса.

Основной рабочий файл представляет собой

следующее:

Несколько тысяч ссылок, несколько десятков подключенных внешних ссылок, несколько видов самих ссылок — от таблиц до OLE объектов. Средний размер файла-ссылки 100 мегабайт, несколько ссылок по 3-4 гигабайта. Работа над этим файлом требовала не менее 100 гигабайт свободного места на жестком диске. Сами диски — скоростные устройства SSD.

В проекте было задействовано 4 новых графических рабочих станции со специальными видеокартами серии Quadro от Nvidia.

Для эффективной работы применялись все известные способы оптимизации. Создавались файлы отдельно с 3-х мерными поверхностями и файлы с 2-х мерной графикой. Работа разделялась на задачи, задачи бились на этапы, применялся облачный рендеринг.

Рабочая среда общения была устроена на базе телекоммуникационных многофункциональных приложений. Все участники проекта были на связи 24 часа в сутки. Широко использовалось удаленное администрирование.

У участников был доступ к основной ГИС, включающей 90% данных, для каждого был выделен свой раздел, который служил «рабочим пространством». Собранная в рамках проекта ГИС может быть использована на всех дальнейших стадиях, таких как строительство, эксплуатация и мониторинг за сооружениями. По сути, выполненная ГИС является основой для BIM-модели сооружений инженерной защиты Багаевского водохранилища.

Проектирование защиты.

Для защиты от затопления решено было применить защитные земляные сооружения — дамбы. Для защиты от подтопления предполагалось использовать 2 типа дренажа: береговой дренаж и, в случае необходимости, головной дренаж горизонтального типа.

На этапе выбора рабочего расчетного уровня для защитных дамб выяснилось, что нормативная документация имеет в этой области белые пятна. В имеющейся документации описан только классический случай создания водохранилища и гидроузла, когда расходы и уровни заданной обеспеченности, в соответствии с классом сооружения, пропускаются и воспринимаются основными сооружениями гидроузла, в которые входят, в том числе, защитные дамбы. В нашем случае основной паводковый расход проходит по пойме реки, а сооружения инженерной защиты являются переливными, то есть сооружениями, затопление и перелив которых допускается при прохождении паводков низкой



повторяемости. Такой вид сооружений в действующей нормативной документации отсутствует, поэтому, для прохождения проекта в экспертизе, понадобилось вмешательство регуляторов.

Вначале были определены основные геометрические характеристики сооружений, для этого были рассчитаны по существующим методикам ветровые характеристики района, далее рассчитаны характеристики ветровой волны, ее накат, взят технический запас в 0,5 м. Таким образом определена отметка гребня защитных дамб. Ширина по гребню взята минимальной с возможностью проезда спецтехники для ремонта и эксплуатации дамб.

Далее, исходя из условий эксплуатации сооружений были заданы расчетные схемы и собраны нагрузки. Расчет дамб на прочность и устойчивость проводился в программном комплексе Plaxis. По результатам расчета было принято заложение верховой и низовой граней сооружения. Тип и основные характеристики конструкций укрепления откосов и гребня дамб.

В качестве крепления верхового откоса дамбы, исходя из максимально воздействующей нагрузки от льда, было принято крепление сборными железобетонными плитами, толщиной 15 см с омоноличиванием по контуру. Подстилающим слоем является щебень и геотекстиль. В качестве упора конструкции верхового крепления служит железобетонный брус, установленный в предохранительную упорную каменную призму.

Низовой откос необходимо было защитить от действия стекающей воды при переливе дамбы. Крепление, предусмотренное на нем — каменная наброска, крупностью 100 мм, толщиной слоя 300 мм с подстилающим слоем из фильтрующего геотекстиля. Данный вид крепления ряд существенных недостатков, но имеет минимальную из возможных вариантов, стоимость.

В качестве реального конкурента классического крепления выступал геомат композиционный, марки ЭНКАМАТ А20 по слою растительного грунта, не имеющий недостатков каменного крепления, но имеющий большую стоимость.

Крепление гребня аналогично креплению низового откоса, но выполняется по экструдированной георешетке для препятствия возникновения колеи и распределения колесной нагрузки.

В соответствии с классической схемой подобных сооружений в основании дамбы, со стороны берега, предусмотрен горизонтальный трубчатый дренаж в щебенистой обсыпке. Обсыпка выполнена в виде призмы, обернутой фильтрующим геотекстильным материалом. Дрены устроены с уклоном к насосным станциям с итоговым сбросом дренажного стока в р. Дон.

Для подборов мощностей насосов, эффективного диаметра дренажных труб и схем самого дренажа гидрогеологическим отделом была выполнена 3-х мерная математическая гидрогеологическая модель и детальный расчет будущих дренажных систем. На выходе модель давала приток (расход) к дренам в каждом конкретном месте их применения. Эти данные позволили без труда принять необходимые схемы дрен и подобрать насосы для насосных станций.

Также в составе сооружений защиты имеется конструкция, обеспечивающая сброс дождевого стока с защищаемой территории.

В соответствии с условиями, в составе расчетных схем работы был перелив дамб, а также и такая, где при отсутствии уровня воды со стороны реки, уровень воды со стороны берега равен отметке гребня дамбы. Для подобного сооружения это нестандартная ситуация, поэтому в конструкциях дамб возникли дополнительные устройства, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию сооружений в указанных экстремальных режимах.

Чтобы предотвратить возникновение противодействия на конструкцию крепления верхового откоса в каждой дамбе предусмотрено устройство регуляторов. Регулятор представляет собой сборное железобетонное сооружение, состоящее из трубы, диаметром 1 метр, проходящей на низких отметках и оголовков, на ее концах, сопрягающих трубу с укреплениями дамбы. На оголовках предусмотрена установка плоских затворов, позволяющих оперативно регулировать расход воды в сооружении. В случае прохождения катастрофического паводка оба затвора поднимаются, уровни с обеих сторон дамбы уравниваются и так продолжается, пока общий уровень в реке не примет отметки НПУ. Далее затворы закрываются и дамбы начинают работать в обычном режиме.

Далее проводился расчет сооружения на фильтрационную прочность.

Расчет производился в профильной напорно-безнапорной стационарной постановке в программе SEEP2D.

В результате расчетов конструкции на фильтрационную прочность, выяснилось, что градиенты фильтрации превышают критические в заданных расчетных схемах. Вследствие чего было принято изменение конструкции крепления верхового откоса дамбы. Вместо заложенного после прочностного расчета разделяющего слоя из геотекстиля было применено композитное решение из геомембраны HDPE и опять же геотекстиля, но теперь несущего функцию защиты геомембраны от физического воздействия со стороны



уложенного щебня при эксплуатации, а главное, при возведении сооружения.

Подтопление. Гидрогеология.

Для того, чтобы выполнить оценку изменения гидрогеологических условий в результате строительства Багаевского гидроузла и произвести подбор параметров мероприятий инженерной защиты от подтопления, было необходимо создать математическую гидрогеологическую модель всего пойменного участка.

Более 2000 скважин фондов и 800, выполненных в рамках проекта, пол-года наблюдений и сотни определений составов грунтов и вод. Это результат работы гидрогеологического звена. За время работы над проектом специалистами было обработано и учтено более 150 Гигабайт исходной фондовой информации

Гидрогеологическая модель захватывает верхний водоносный комплекс, развитый в пределах поймы р. Дон на участке от Кочетовского до Багаевского гидроузла. Исследуемая территория имеет плановые размеры 37 x 87 км, площадь области моделирования — 2000 км². Модель 4-х слойная. Модель имеет 355x516 блоков со сторонами 500x430 м на периферии модели и 100x100 м вблизи населенных пунктов.

Оценка изменения гидрогеологических условий выполнена с применением геофильтрационного моделирования, которое является наиболее точным и достоверным инструментом. Выполненная модель позволила с высокой степенью достоверности определять прогнозные характеристики гидрогеологической обстановки, применять минимально необходимые для инженерной защиты мероприятия и точно подбирать оборудование.

Выполненная на этой основе оптимизация по укрупненным подсчетам, дает удешевление строительства системы инженерной защиты от подтопления до 80% в сравнении с классическими фильтрационными расчетами.

Вывод информации

Заключительным этапом была реализация принятых решений в проекте. В качестве основного инструмента проектирования выступил AutoCAD Civil 3D с его многочисленными подключаемыми модулями и собственными возможностями.

В этой программе выполнялись: построение опорных

поверхностей, коридоров, разрезов, сечений, продольных профилей, подсчет объемов по конструкциям. Проектирование дренажной сети, построение продольных профилей.

Модуль Subassembly composer — проектирование и программирование поведения модели конструкции коридора.

Модуль Civil geo tools — построение, расчет и оформление картограмм земляных масс.

Пакет модулей Country kit — построение и оформление продольных профилей земляных сооружений.

Модуль собственного нашего собственного производства PrcsoDWC 1.4 — моделирование шахт дренажных колодцев и компиляция ведомостей элементов сборного железобетона.

Также в процессе были использованы многочисленные подпрограммы для AutoCAD, значительно ускоряющие процесс создания, редактирования и вывода готовых чертежей на печать.

Итоги

24 километра защитных дамб, 18 километров дренажей, 45 насосных станций, несколько сотен дренажных колодцев. Более 350 листов чертежей. Это результат работы бригады из 2-х (!) человек и 2 помощников.

В результате работ по данному проекту создан инструмент, который позволяет решать масштабные задачи по проектированию протяженных инженерных сооружений, используя минимальное количество времени и трудозатрат. Проектный программный комплекс для решения задач инженерной защиты. Справедливо будет сравнить его с проектами типовых серий, но типовым нового уровня, с автоматизацией основных, затратных по ресурсам частей.

Применение геотекстиля, геомембраны, композитов и прочих пластиков в сооружениях — существующий тренд и по всему миру и в России. Синтетические материалы позволяют сэкономить все дорожающие природные ресурсы, чаще всего являются более экономичными, технологичными и экологичными, нежели их классические природные аналоги и на данный момент являются передним краем прогресса строительной индустрии. Соответственно, мы не могли не использовать эти тенденции в нашем проекте.

ООО «СОЮЗВОДПРОЕКТ»

+7 (495) 504-18-50

+7 (903) 203-01-11

info@sovopro.ru

www.sovopro.ru

Применение современных технологий и российской техники при выполнении работ по укреплению склонов, откосов и котлованов

ООО «Анкерные системы» (Malinin group)
Малинин Д.А., директор

В настоящее время в мировой практике получили широкое распространение винтовые самозабуриваемые анкера. Особенностью данного типа анкеров является совмещение операции бурения скважины и установки анкера. Винтовая поверхность трубчатых тяг обеспечивает надежную прочность контакта анкера с цементной оболочкой его концевой части.

Отметим, что на сегодняшний день нормативные документы позволяют обоснованно рассчитывать винтовые анкера для решения различных задач подземного строительства, таких как крепление бортов котлованов, обеспечение устойчивости склонов и откосов при строительстве автодорог, укрепление породных массивов при строительстве железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитенов, усилении фундаментов и т.п.

Учитывая возросшую потребность отечественного строительного рынка, предприятием «Анкерные системы» разработана технология производства анкеров Атлант с винтовой поверхностью. Винтовая поверхность обеспечивает максимальное сцепление тяги анкера с окружающей оболочкой из цементного камня.

Компания «Анкерные системы» располагает современным оборудованием и имеет достаточные производственные площади для реализации полного цикла производства анкерных тяг Атлант и комплектующих элементов к ним. Процесс накатывания профиля выполняется обкатыванием наружной поверхности трубы накатными роликами при их одно-

временном вращении и радиальной подачей одного из них.

Анкерные тяги Атлант выпускаются отрезками длиной 1,0 - 2,0 - 3,0 м и соединяются с помощью муфт. Также возможно изготовление тяг другой длины в соответствии с требованиями проекта Заказчика.

Для производства анкерных тяг Атлант и соединительных муфт применяется конструкционная легированная сталь с пониженным содержанием серы и фосфора.

Основным фактором, определяющим несущую способность тяг анкера является площадь его сечения,



Рис. 1. Накатка винтовой поверхности



Рис. 2. Накатка винтовой поверхности

Таблица 1. Основные технические характеристики

Тип штанги	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Условный предел текучести, МПа	Прочность на разрыв, МПа	Несущая способность, кН	Разрывное усилие, кН
30 x 8	30	14	470	590	260	326
42 x 8	42	26	550	690	470	590
42 x 10	42	22	550	690	553	694
57 x 6	57	45	600	790	576	759
57 x 8	57	41	590	790	727	973
57 x 10	57	37	580	790	856	1166
73 x 9	73	55	580	790	1050	1430
73 x 11	73	51	600	790	1285	1692
95 x 13	95	69	580	790	1942	2646

которая зависит от диаметра и толщины стенки трубы. Компания «Анкерные системы» производит грунтовые анкера Атлант с несущей способностью от 260 до 1940 кН. Основные технические характеристики представлены в **таблице 1**.

Постоянно на складе в Перми имеется до 3000 п.м. анкерных тяг Атлант различных типоразмеров, а также элементы узлов крепления и породоразрушающий инструмент.

Перспективным направлением для использования анкерной крепи является транспортное строительство. Успех решения подобных задач зависит не только от умения и опыта строителей, но и от техники, с помощью которой эти задачи решаются. В большинстве случаев строительство новых транспортных путей проходит в сложных геологических условиях, и это требует применения самой современной специализированной техники.

Российское предприятие «Специальная Строительная Техника» более 15 лет производит оборудование для геотехнических работ. Конструкторским отделом компании была разработана и введена в серийное производство буровая установка Figaro PAUK (**рис. 4**).

Многофункциональная буровая установка предназначена для выполнения следующих видов работ: устройство грунтовых ан-

керов, нагелей и свай; инъекционное закрепление грунтов; струйная цементация грунтов и др.

Легкая и маневренная буровая установка Figaro PAUK оснащена гидравлическими лебедками для размещения на любой местности. Быстрая настройка и позиционирование мобильной буровой Figaro PAUK повышают эффективность бурения и производительность работ в целом. Применение данной установки позволяет быстро и безопасно реализовать самые сложные строительные проекты.

Основными преимуществами Figaro PAUK являются:



Рис. 3. Склад анкерных тяг



Рис. 4. Буровая установка Figaro PAUK

- Максимальная мобильность на крутых склонах благодаря отдельно стоящей маслостанции (>200 м);
- Двухсекционная быстрая монтажная система для транспортировки вертолетом;
- Низкий вес и высокая мобильность буровой установки;
- Максимальная устойчивость благодаря трех точечному опиранию;
- Герметичный корпус гидростанции исключает возможность протечки гидравлических жидкостей, что особенно важно для работ в заповедных зонах;
- Полностью гидравлическое управление позиционированием;
- 2 лебедки несущей способностью 3,2 тонны (диам. каната 11 мм);
- Максимальная безопасность благодаря пульту дистанционного управления на CAN-кабеле.

Обеспечить высокую производительность инъекционных работ невозможно без технологичного растворосмесительного узла. Специалисты компании «ССТ» совместили инъекционный насос GP и миксерную станцию Mini, получив компактный комплекс MINI (рис. 5).

Инъекционный насос GP имеет два режима нагнетания. В режиме высокого давления достигается максимальное давление до 10 МПа, в режиме низкого давления достигается максимальный расход до 60 л/мин. Гидравлическая схема насоса позволяет плавно регулировать расход рабочего раствора, а также давление нагнетания.

Миксер оснащен весовыми датчиками, позволяющими выполнять дозированное смешение компонент



Рис. 5. Комплекс инъекционный MINI

раствора. Объемы емкостей миксера и накопителя были специально рассчитаны для обеспечения производительности 8 м³/час.

Смешивание компонент раствора происходит в турбулентном потоке, создаваемом центробежным насосом, установленным в нижней части смесителя. После перемешивания цементный раствор подается в накопитель, где он поддерживается в однородном состоянии вращающимися лопастями.

Все оборудование, производимое компанией «ССТ»,



Рис. 6. Работа буровой установки Figaro PAUK, Краснодарский край



Рис. 7. Ограждение котлована с 3-мя ярусами анкеров Атлант, Москва

имеет ряд неоспоримых преимуществ: оперативно обеспечивается технический сервис, поставка запасных частей и, что часто является особенно важным — производится обучение персонала.

Компании, использующие на своих объектах грунто-вые анкера Атлант и оборудование производства ССТ,

оценили качество и надежность данной продукции. Анкера Атлант были установлены на Олимпийских объектах, при строительстве автомобильных дорог в горной местности, при строительстве железных дорог и путепроводов. Оборудование ССТ успешно выполняет самые сложные геотехнические задачи по всей России.

ООО «Анкерные системы» (Malinin group)
г. Пермь
+7 (342) 200-79-00
г. Москва
+7 (495) 226-18-37
info@anker-system.ru
www.anker-system.ru

Геосинтетические материалы для гидротехнического строительства и инженерной защиты водных объектов. Практика применения

ООО «ВостокГеоСинтетикс»

Щукин С. Н., генеральный директор

Применения полимерных геоматериалов в конструкциях защитных сооружений на водных объектах на сегодняшний день носит не частый характер. Геоматериалы используются для временных или второстепенных сооружений, с целью снижения стоимости затрат при производстве работ той или иной конструкции.

Отсутствия возможности правильно оценить долговечность работы геоматериалов, тормозит их применение в проектирование и строительстве защитных сооружений. Проблема заключается только в одном — в доказательстве долговечности материалов и их функциональности во времени, взамен традиционным материалам.

В статье приводится описание разных типов геоматериалов с минимальным сроком эксплуатации не менее 30 лет. Основная функция материалов — это «борьба с эрозией» и «защита».

Надежность геоматериалов, как правило, оценивается по критерию остаточной прочности на конец срока службы сооружения, а также сохранения основной функции. Снижение показателя прочности зависит от интенсивности воздействия негативных факторов окружающей среда в виде биологического, химического, светового, механического разрушения и тд.

1. Геосинтетический материала «геомат марки

Энкамат А20», композиционный материал, состоит из полиамидного геомата и черного щебня. Применения данного материала рекомендовано для борьбы с эрозией в сочетании с биологическими типами защиты. Макропористая структура обеспечивает прорастание семян травы, их защиту в период посева и прорастания. Опыт применения и проведенные в разные годы гидравлические испытания позволили выделить основные расчетные параметры: средняя скорость сопротивления влекущему потоку воды 2,6 м/сек и коэффициент шероховатости по формуле Н.Н. Павловского $n=0,0162$. Первые проекты были реализованы в 70-х годах прошлого столетия. Анализ материала и визуальная оценка первых объектов с применением материала Энкамат А20 доказывает сохранения его функции и высокий показатель остаточной прочности. Первый объект применения был реализован в 70-х годах прошлого столетия с целью защиты судоходных каналов в Голландии. Основания область применения на объектах ГТС — это защита переливных дамб от размыва (борьба с эрозией, вызванная высокими скоростями потока воды) гребня и низового откоса, берегозащиты.





Рис. 1. Пример защиты откоса с применением материала Энкамат А20

2. Геосинтетический материал «габионный мешок «Фильтр Юнит» состоит из двух слоев геосетки, с последующим сшиванием особым способом для формирования проницаемого габионного мешка, заполненного каменным заполнителем, фракцией от 50 до 200 мм (представлен на фото). Средний размер заполненного мешка: высота 0,5 м, диаметр 1,5 метра, вес от 2 тонн. Функция материала — это защиты и борьбы с эрозией, защиты подводных коммуникаций и мостовых опор от размыва грунта. Материал может применяться как конструктивный элемент (или дополнительная защита) при устройстве дамб или подводной части молов, создании эколандшафтов для развития флоры подводного мира, защите стенок портовых сооружений от размыва грунта (рис.2) и тд. Материал поставляется на строительную площадку в виде мешков дополнительно укомплектованный подъемным кольцом. Типы мешков разделяются на 3 варианта, в зависимости от объема и веса каменного материала применяемого для заполнения.

Данный материал впервые был применен в 1986

года для защиты опор мостов в морской акватории в Японии. В соответствии с протоколами обследований разных лет, технология защиты опор принята самой эффективной. Мониторинг многих объектов показал высокую остаточную прочность геосетки, превышающую проектную величину, работоспособность конструкций и отсутствия следов загрязнения окружающей среды.

В портовом хозяйстве защита портовой стенки от размыва грунта в период швартовки и стоянки судов



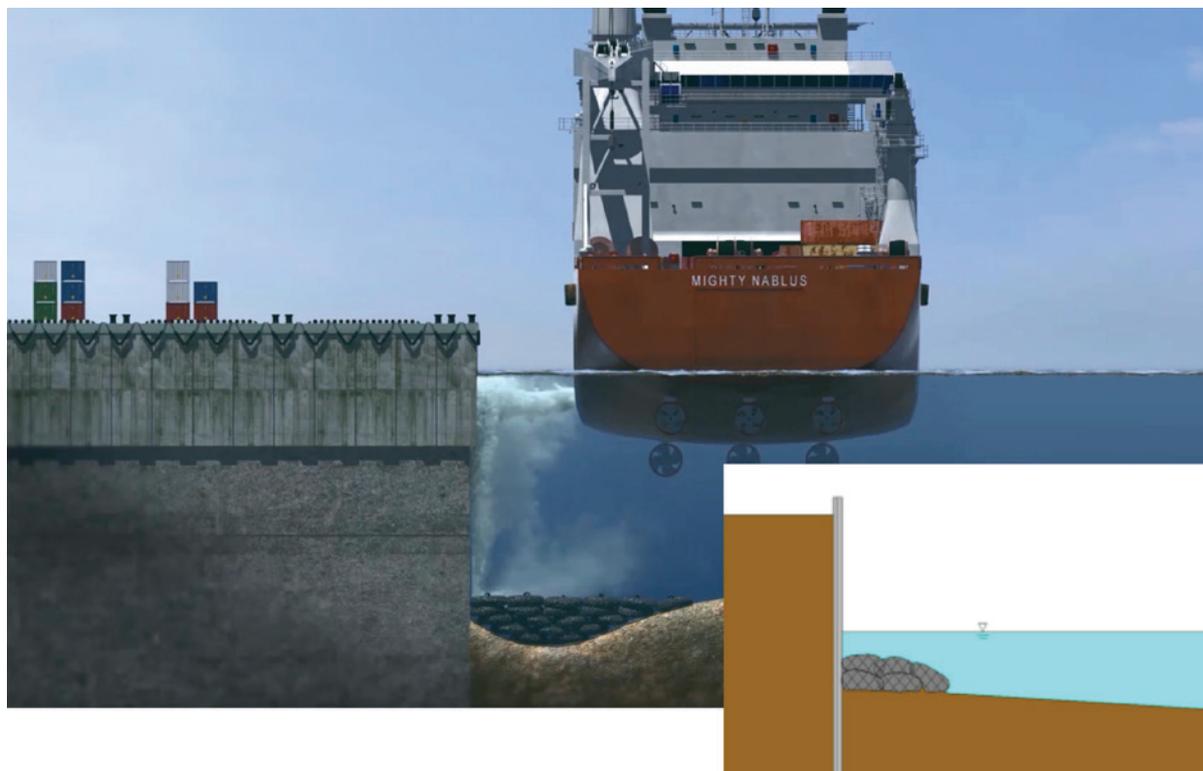


Рис. 2. Защита причальной стенки от размыва грунта при швартовке и стоянки судов в порту с применением габионных мешком «Фильтр Юнит» заполненных каменным материалом

решается по разному. Мы предлагаем вариант защиты с применением габионных мешков ФИЛЬТР ЮНИТ представленный на рисунке 2. Работы по заполнению мешков могут осуществляться в порту, на специальной площадке. Опускание и установка мешков на дно производится одной единицей строительной техники и несколькими рабочими. Инспекционный контроль под водой производится группой водолазов или с применением подводной камеры.

3. Геосинтетический материала — габион матрацно-тюфячный марки «ГеоGRID-Мат» из полиэфирной геосетки, с размером ячейки 23*23мм, с защитным покрытием из ПВА, сшитым особым способом, дополнительно армированный 4 полимерными полосами с 8 точками подъем. При заполнении каменным материалом, фракцией 70-100 или 100-150 мм, формируется матрацно-тюфячного конструкция размером 2.0 * 3.0 метра, толщиной 20 или 30 см. Стандартная прочность геосетки не менее 80 кН/м.

Габионная конструкция на основе «ГеоGRID-Мат» применяется для берегозащита и берегоукрепление, защита основания каналов и зон постоянного размыва (борьба с водной эрозией при средней скорости по-

тока до 5.0 м/с, при которой не деформируется и не теряет устойчивости матрацно-тюфячный габион), защита и пригруз подводных коммуникация.



Рис. 3. Пример устройства защитной дамбы с применением материала «ГеоGRID-Мат» и монтаж материала в прибрежной зоне для защиты пляжей



На фото приведен пример применения «устройство защитной дамбы» а также фото монтажа заполненной конструкции в береговой зоне строящегося объекта.

Полимерная основа материала позволяет гарантировать высокий срок службы конструкции (остаточная прочность, при подводной эксплуатации) не менее 65% при воздействии негативных факторов окружающей среды в течении 50 лет). Материал применяется на речных и морских объектах. Применение фракционного каменного материала повышает производительность работ при заполнении габионных конструкций до 60 габионов в смену.

Представленные материалы и технологии вы можете заказать в нашей компании. Мы гарантируем высокое качество предлагаемых материалов, осуществляем авторский надзор.



ООО «Восток ГеоСинтетикс»
г. Истра
+7 (495) 720 61 04
info@geovostok.ru
www.geovostok.ru

Водная эрозия на объектах строительства. Взгляд на причины. Оценка потерь. Эффективные механизмы контроля

ООО «ЭСТМ»

Гресков П. Н., генеральный директор

Введение.

На протяжении всей истории цивилизации человечество сталкивается с природными силами, изменяющими окружающий ландшафт. Одной из самых осознанных стихий, воздействие которой мы видим постоянно, является вода. В данном докладе мы опишем процессы водной эрозии почв, механизмы ее возникновения и основные методики противодействия.

Вода окружает нас повсюду.

Имеет три основных агрегатных состояния – твердое (лед), жидкое (вода) и газообразное (водяной пар) и несколько переходных — туман, дождь, снег. Процессы перехода из одного состояния в другое задают механизм круговорота, благодаря которому вода может воздействовать на ландшафт. Освещая проблему водной эрозии, мы рассматриваем воздействие воды в виде жидких осадков на почву – поверхностный грунтовый слой. Именно ливни зачастую задают начало разрушительным процессам, от которых страдает созданная человеком инфраструктура.

Виды прямого воздействия сред:

- Солнечные лучи (иссушение)
- Дождевые капли
- Поверхностный сток
- Ветровая нагрузка
- Циклы заморозки/таяния

Природный баланс грунта и растительности.

Структура земной поверхности традиционно представляет собой ряд сформированных в разное время осадочных грунтовых слоев, расположенных на коренном основании (гранитном, базальтовом и тд). Верхний слой защищен растительным покровом, который нивелирует воздействие среды, связывает поверхность почвы корневой системой и обеспечивает необходимую скорость инфильтрации воды.

Разрушение почвы в результате эрозии и дефляции

Таблица 2А. Время смыва 180мм почвы (тяжелый опесчаненный суглинок) при крутизне склона 10° (Х.Х.Беннетт, 1928)

Растительный покров	Число лет, необходимое для смыва
Лес	500000
Многолетние травы	3225
Разные культуры в севообороте	70
Пропашная монокультура	15

проявляется в различных формах: смыв, размыв, дефляция, образование промоин и оврагов, пыльные бури и др. Водной эрозии подвержены 31%, а ветровой — 34% суши. В Мировой океан ежегодно смывается до 60 млрд. тонн почвенного материала, во многом это связано с сельскохозяйственной и строительной деятельностью человека. Сведение лесов, уничтожение растительного покрова приводят к смыву и дефляции почвы.

Скорость эрозии многократно возрастает на участках с незащищенной поверхностью по сравнению с территорией, занятой лесом или травяными сообществами.

Сплошной растительный покров эффективно связывает витающую пыль (10-70 т/га в год) из воздуха, обеспечивая баланс и сохранения ландшафтов в течение длительного периода.

Определение понятия деградации объекта.

Большинство грунтовых работ начинаются с удаления защитного поверхностного слоя (вскрыши) с участка. Обнажаются грунтовые слои, никогда (или долгое время) не взаимодействовавшие со средой непосредственно. Под воздействием прямых солнечных лучей, ветра и осадков начинаются разрушительные процессы, которые могут быть остановлены только путем формирования нового защитного покрытия,

естественного или искусственного.

Определим понятие деградации объекта строительства как Процесс постепенного ухудшения характеристик какого-либо объекта или его части с течением времени, вследствие внешних воздействий естественной природы и времени.

Процесс деградации имеет незатухающий характер, ускоряется со временем, интенсивность воздействий также возрастает (растет вероятность наступления событий с высоким процентом обеспеченности), поэтому разработка методик защиты от разрушительных воздействий на период строительства и после него является важной задачей.

Виды эрозии

Проблемой эрозии занимаются на высоком уровне уже более 100 лет, поэтому процессы имеют свою классификацию. Наш профессиональный интерес — водная

Примеры эрозионных проявлений и ущерба

Сведение леса в зоне полосы отвода объекта.

- Изменение «гидрологии» в зоне выемок: возможная потеря устойчивости склона.
- Изменения ветровых нагрузок на границе отвода: массовое падение деревьев от ветра
- Суффозия грунта из-за потери поверхностных слоев

Изменение профиля грунта на объекте строительства

- Локальное заболачивание прилегающих территорий
- Образование маршрутов концентрированного стока — размывание ландшафта
- Незапланированные стоки в окружающую гидросистему
- Вынос продуктов эрозии за пределы объекта – «загрязнение» территорий

Длительные промежутки между грунтовыми работами и созданием защитного покрытия

- Эрозия склонов (поверхностная водная, ветровая, суффозия)

Водная эрозия	– поверхностная, линейная, ирригационная – эрозия прямого воздействия ливневых осадков и сформированного на их основе поверхностного стока. Ирригационная Э. – как частный случай водной.
Дефляция	– разрушение почвы и перенос мелкозема ветром. Дефляция как самостоятельное явление при производстве грунтовых работ, как дополнение к водной эрозии.
Суффозия	– разрушение почвенного покрова в результате просадок, возникающих в процессе растворения и выноса из почвы и подстилающей породы. Вынос мелкозема на горных почвах.
Оползни	– скользящее смещение почвы и подпочвенной толщи горных пород на склонах по водоупорному горизонту, представленному более плотными породами.
Солифлюкция	– как частный случай оползней – сползание переувлажненного слоя почв по мерзлому водоупорному слою. Характерное явление как для районов с мерзлотой, так и при укреплении склонов линейных объектов / искусственных сооружений.
Техногенная деструкция	– разрушение и смещение гумусового горизонта вследствие образования микрорельефа (нагрузка от техники). Используется в расчетах какотягачущий фактор других видов эрозии.

эрозия, а также процессы, связанные с переувлажнением и заморозкой верхних слоев грунта, а также ветровыми воздействиями.

Виды эрозии взаимосвязаны и перетекают из одного в другой. Поверхностный снос грунта открывает воде путь вглубь, увлажняются нижние слои, что ведет к снижению устойчивости склона в целом и риску образования оползней и обвалов. Игнорирование явления всегда ведет к повышенным расходам строительства и обслуживания, и иногда — к разрушению объекта, невозможности эксплуатации.

- Размывы склонов, дорожного полотна
- Заиливание водотоков, буферных водосборных бассейнов
- Потеря качества перемещаемых грунтов
- Пыльность на объекте – снижение межсервисных интервалов техники

Промежуточные выводы:

1. Деградация объекта — неизбежный процесс, сопутствующий строительству со старта работ.
2. Процесс деградации при строительстве ведет к перерасходу ресурсов, снижению прибыли при строи-

тельстве, повышенным затратам на эксплуатацию.

3. Снижение влияния деградации на процесс строительства — необходимая задача.

4. Проектирование каждого этапа строительства должно включать подзадачу защиты от воздействий.

5. Время всегда работает на разрушение. Применим закон неубывания энтропии: если система находится в неравновесном макроскопическом состоянии, то в последующие моменты времени наиболее вероятным следствием будет возрастание её энтропии (вольная интерпретация). Следствие — сокращение времени воздействия факторов до минимума.

Физика водной эрозии.

Почвенная эрозия представляет собой двухфазный процесс, состоящий из отделения частиц грунта и целых агрегатов от почвенного массива и их переноса транспортной средой (вода, ветер). Когда для дальнейшего перемещения частица становится недостаточно энергии, наблюдается третья фаза — депозиция (отложение).

Фаза 1.

Основным фактором, инициирующим отделение частиц грунта от массива, является ударное воздействие дождевых капель. Энергия падения капли выражается простой формулой кинетической энергии,

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2,$$

где u — скорость падения капли на поверхность, $m = f(i, t)$ (функция интенсивности и времени дождя)

При естественных осадках размеры капель воды варьируются в пределах от 0 – 8 мм в диаметре¹.

Механизм взаимодействия капель при дожде достаточно сложен, но общая тенденция эмпирически оценена. При увеличении интенсивности дождя увеличивается количество быстрых и тяжелых капель, соответственно, их масса и энергия удара о землю.

Средняя скорость равновесного падения капель дождя u_k (м/с) может быть выражена уравнением:

$$u_k = 8.505 \cdot i^{0.2},$$

где i — интенсивность дождя, мм·мин⁻¹.



Рисунок. «Корона» дождевой капли при ударе о грунт

¹ Диаметр здесь – условное понятие, так как форма падающей капли отлична от шара и серьезно трансформируется в зависимости от размера. Чем больше капля, тем быстрее она летит, собирая на пути более мелкие и, соответственно, медленные капли. Одновременно, с увеличением размера и скорости, набегающий поток воздуха трансформирует и разрывает каплю на части).

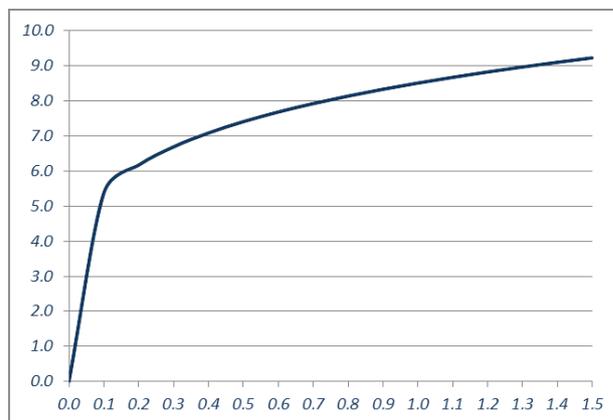


График зависимости равновесной скорости капли, м/с от интенсивности ливня мм·мин⁻¹

Представленные формулы и график показывают, что размеры дождевых капель и энергия, которую они переносят, способны вызвать перемещение сопоставимых по размеру и массе частиц почвы и почвенных агрегатов (частицы 0.0001-5мм, плотность 1.1-2.6 г/см³, агрегаты 0.1-10 мм, плотность 1.0-1.8 г/см³), инициируя эрозионный процесс.

Наибольшей склонностью к эрозии обладают почвы с преобладанием пылеватых частиц и мелкозема, в меньшей степени — средних и крупных песков. Наиболее устойчивы к прямому воздействию дождевых капель

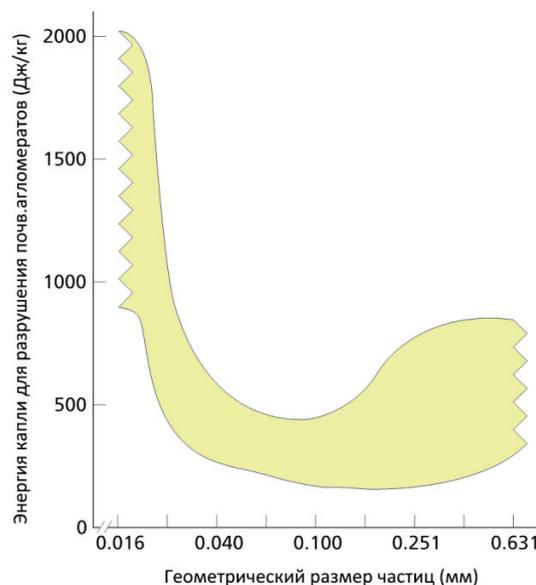


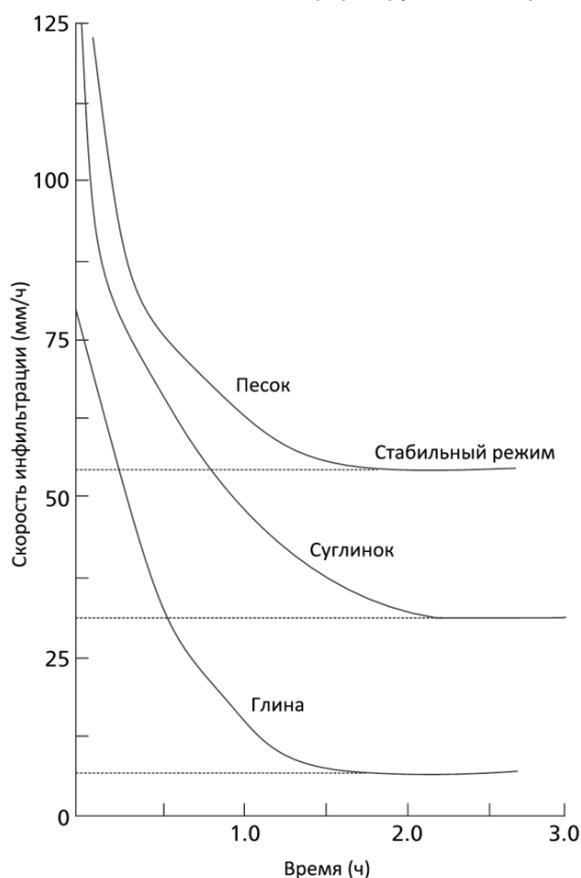
Рис. А 6. Диаграмма эмпирической зависимости энергии дождя, необходимой для смещения частиц, от размера частицы почвы

являются глины благодаря высокой степени связности частиц в структуре.

Фаза 2.

Начальный процесс эрозии, вызываемый ударным воздействием дождевых капель, не провоцирует значительного перемещения грунта, пока интенсивность дождя не превысит пределы водопроницаемости почвы. Как правило, скорость инфильтрации воды слоем грунта нелинейна в начальный период дождя, и зависит от продолжительности осадков.

Если интенсивность дождя превышает водопроницаемость почвы, излишек воды формирует на поверхности



Зависимость скорости инфильтрации от продолжительности дождя

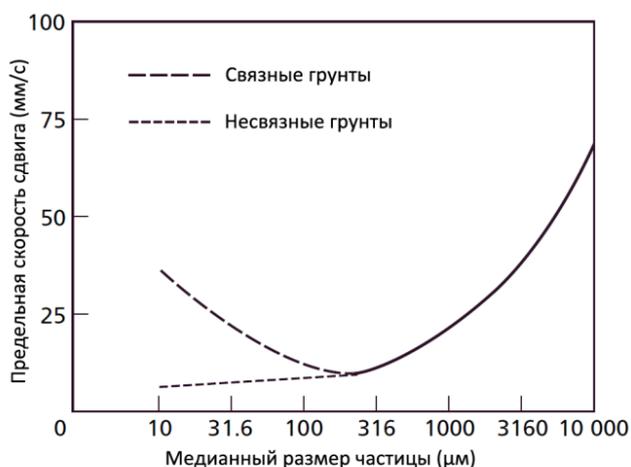
грунта сток по вектору падения воды. На грунтовые частицы и почвенные агрегаты воздействуют силы смещения потоком воды, а также силы тяжести, связи частиц.

В расчетах эрозии используются такие переменные, как нагрузка на сдвиг (shear stress — Θ), число шероховатости Рейнольдса Re , рассчитываемые по формулам водной гидродинамики по данным гидравлического

радиуса, скорости потока, удельной плотности частиц и размера частиц, угла падения потока.

$$\Theta = \frac{\rho_w u_*^2}{g(\rho_s - \rho_w)D}$$

Скорость потока определяется уравнением Ман-



Скорость потока, необходимая для сноса частицы грунта

нинга

$v = \frac{\gamma^{2/3} S^{1/2}}{n}$, где n — коэффициент шероховатости Маннинга

Диаграмма иллюстрирует возможность переноса частиц даже при незначительных скоростях поверхностных потоков. Как и при ударном воздействии капли, наибольшую склонность к уносу демонстрируют частицы пылеватых фракций и мелкозема.

Объем массы уноса зависит от транспортной способности поверхностных водных потоков, крутизны склона, микроландшафта, качества эрозионного воздействия на склон (плоскостная линейная эрозия, ручейковая эрозия, овражная эрозия).

Ливневые осадки, превышающие по интенсивности скорость инфильтрации воды в почву, создают условия для уноса грунта со склона. Капли дождя, разрушающие почвенные агрегаты, ускоряют процесс. Естественные неровности почвы, расположенные вдоль линии стока воды по склону, создают систему микроканалов и концентрацию потока. Это приводит к повышению эрозионной нагрузки на грунт, увеличению скорости потока и турбулентности и, как следствие, ускоренной эрозии.

Возникают промоины. Дальнейшая концентрация потока ускоряет разрушение склона, приводит к угрозе

образования оврагов или потере устойчивости склона

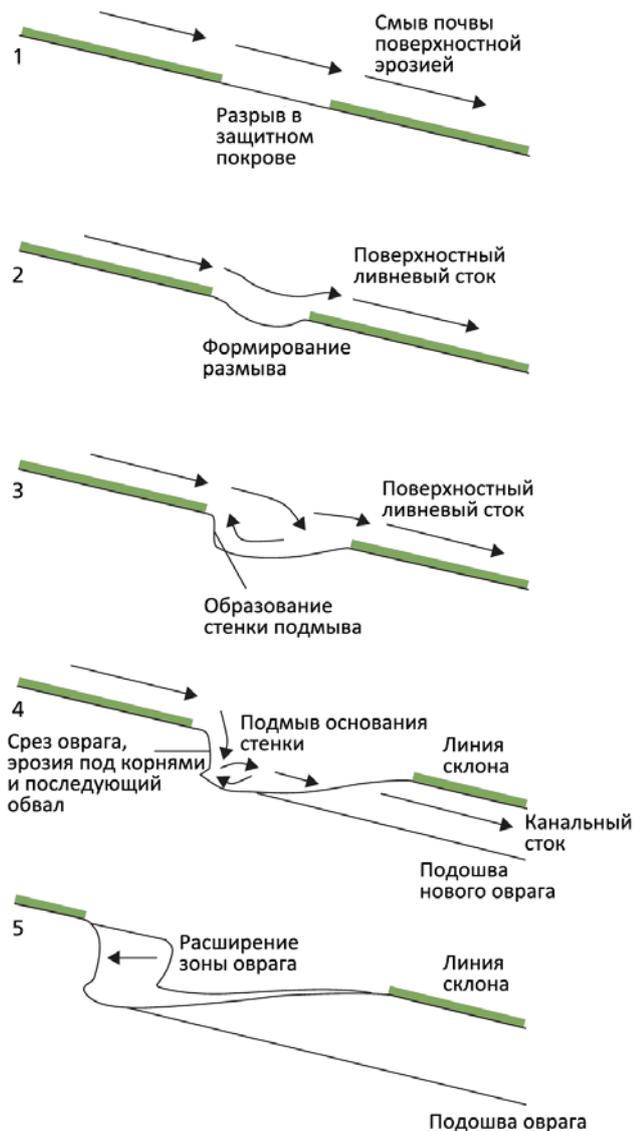


Рис. Б.1 Стадии оврагообразования

и угрозе оползня.

Классическое оврагообразование:

Опасность эрозионного образования оврагов существует не только для незащищенных склонов, но и для участков с дефектами защитного покрытия. При проведении противоэрозионных мероприятий необходимо уделять внимание также локальным нарушениям защиты, предусмотреть восстановительные работы.

Эрозионные разрушения неукрепленного земляного полотна характеризуются высокой активностью. Поверх-

ности откосов покрываются густой сетью промоин глубиной от нескольких сантиметров до 1 м и более. Глубокие промоины создают возможность проникновения воды в глубинные слои склона, что негативно отражается на его устойчивости, возникает риск оползневых явлений.

Общий подход к оценке объемов эрозии

Методика оценки потерь почвы от дождевой эрозии была создана для быстрого анализа состояния склона, оценки и выбора оптимальной технологии его защиты. Эта методика опирается на многолетние наблюдения более чем 10000 контрольных точек плюс многочисленные моделирования процессов в дождевальных экспериментах.

В результате появилось система уравнений и единой уравнение RUSLE (Уточненное Универсальное Уравление Расчета Почвопотерь), заключающее в себе базовые параметры, влияющее количественно на скорость потери почвы склоном (скорость эрозии):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P, \text{ где}$$

A - расчетная величина почвопотерь на т/га за период времени

R = фактор дождевой активности

K = коэффициент податливости почв эрозии (эрозионности)

LS = фактор геометрии склона — f (длина склона, крутизна склона)

C = фактор покрытия, коэффициент существующего защитного покрова

P = корректирующий коэффициент обработки поверхности

R — фактор активности эрозии от дождевых капель и дождевых потоков, рассчитываемый для конкретного места. В ряде стран значение R можно получить из информационной базы, созданной и обновляемой уполномоченными организациями. В России и странах СНГ значение R рассчитывается в программном модуле ЭСТМ на основе многолетних открытых данных метеорологических станций по алгоритму и формулам, созданным на базу мировых исследований данной проблемы.

K — коэффициент врожденной склонности к эрозии почвы. Величина коэффициента K — функция гранулометрического состава, структуры почвы, процента органики, водопроницаемости. Значение K может быть оперативно оценено вручную, по номограммам Вишмайера, либо рассчитано в программе моделирования ЭСТМ, по уточненным моделям Вишмайера-Смита и Ширази-Боерсма.

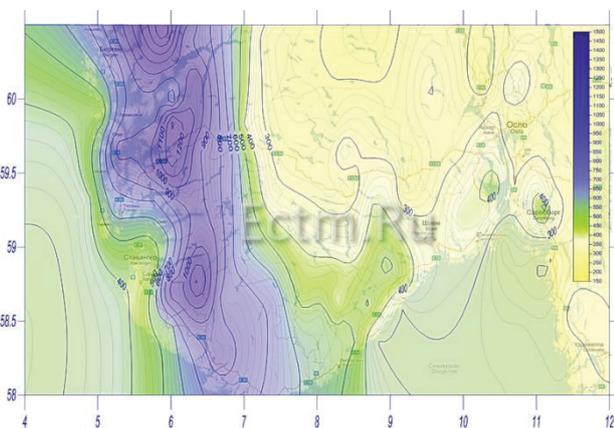
LS — характеристика склона, фактор влияния длины и крутизны склона по линии падения воды. Значение LS

рассчитывается для «чистого» склона, в случае наличия на склоне деревьев и зон с активной вегетацией это значение может быть другим.

C — фактор покрытия, концентрирует эффект снижения эрозии от наличия на склоне поверхностных материалов, неровностей, биомассы и других препятствий для движения воды. Значение C-фактора может предоставляться производителем противозерозионных материалов по результатам испытаний (для рулонных материалов, а также материалов для гидромульчирования разработан стандарт испытаний ASTM 6567), некоторые значения приведены ниже.

P — коэффициент, отражающий эффект создания микрорельефа (микротеррасирования) по снижению эрозии. При отсутствии данных о поверхности рекомендуем оставлять $P=1$ (необработанная поверхность).

НВ. Уравнение RUSLE оценивает эрозию дождевых капель, эрозию естественных ливневых водных по-

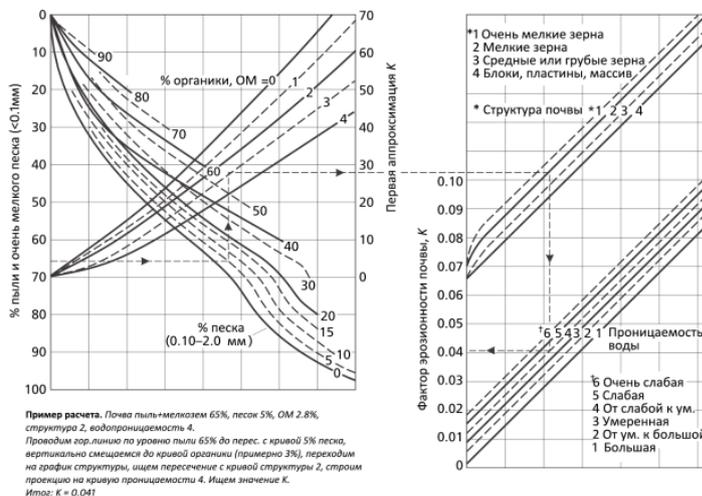


Пример расчета дождевого R в регионе токов в виде ручейков и ручьев на поверхности, но HE предназначено для оценки эрозии, возникающей в водном потоке в овраге или канале.

По доступным данным производится вычисление объема эрозии — почвопотерь — за расчетный временной промежуток, необходимый для создания устойчивого защитного поверхностного слоя (для создания травяного покрова в умеренном климате — как правило, 1 год, в холодном или засушливом климате — 1.5-3 года. Реже — более короткие периоды, для специальных расчетов).

Наиболее значимым параметром, способным влиять на величину эрозии, является C — фактор покрытия.

Сплошной растительный покров обеспечивает практически 100% защиту от эрозии ($C < 0.001$), многократное



Типовая номограмма Вишмаера для K

снижение поверхностного стока, является самовозобновляемым и требующим минимум эксплуатационных расходов. При наличии возможности выбор противозерозионной защиты в виде задернения территории оптимален.

Однако, существенный минус растительного покрова состоит в значительном времени его качественного установления. На Кавказе, например, характерен промывной водный режим грунта, когда осадки инициируют вымывание полезных элементов из почвы. Этот фактор, наряду с периодами засух или холодной погоды, существенно осложняет задачу получения качественной растительной защиты. Все это происходит на фоне опасности эрозии открытых участков.

Решением задачи выглядит выбор искусственного защитного покрытия, действующего на интервале времени, обеспечивающего защиту от эрозии и поддержку роста трав. Грамотный выбор композиции — задача инженера на этапе проектирования противозерозионных мероприятий.

Многие противозерозионные покрытия на базе органических волокон способны впитывать огромные объемы воды (до 1800%), обеспечивая отсутствие стока даже при дождях до 20-25 мм/м². Удержание влаги, обеспечение органикой и питательными веществами — залог своевременного образования качественного защитного покрова.

Инженерные противозерозионные покрытия могут сочетать в себе различные технологии — как гидромульчирование, так и укрепление склонов геоматами, силовыми сеточными покрытиями, анкерным крепежом и нагельными полями.

Эффективность и необходимость своевременного

Таблица. Типовые значения С для некоторых покрытий:

Продукт	Значение С -фактора
Необработанная почва без покрытия	1.00
Георешетка, сотовая/ячеистая структура (1780 г/м ²)	0.50 – 0.75
Полиэтиленовый/PP мат (450г/м ²)	0.20 – 0.25
Геомат, полиамидные монофиламенты, сл.ориент. (260г/м ²)	0.20 – 0.25
Древесноволокнистая мульча (ТММ-волокна) с закрепителем	0.25 – 0.45
Сшитый/нетканый полипропиленовый мат (88г/м ²)	0.06 – 0.10
Сшитая сетка из джута (500г/м ²)	0.01 – 0.07
Противоэрозионный комплекс HP-FGM,EFM (400г/м ²)	0.001 – 0.05
Композит HP-FGM + Геомат полиамидный. (800г/м ²)	0.001 и менее

Значения фактора С для некоторых противоэрозионных материалов

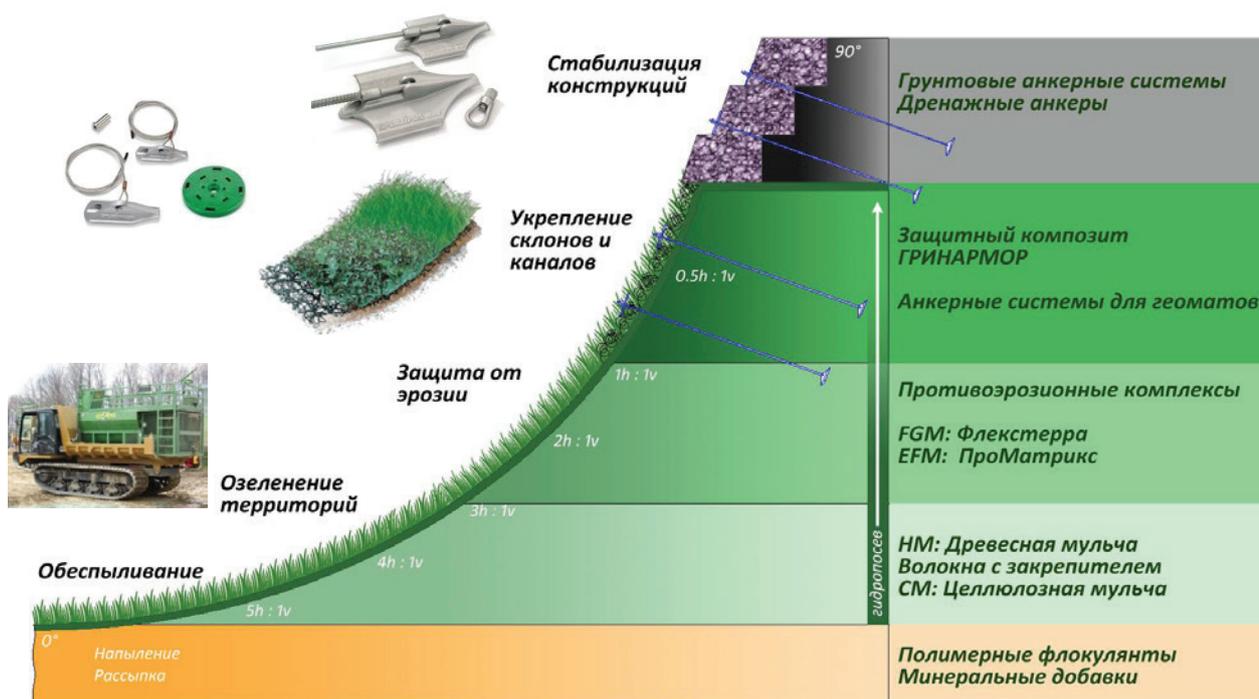


Диаграмма уровней противоэрозионных решений

подхода и важности выбора материалов иллюстрирует фото внизу. В левой части фотографии горный суглинок (!) оставался в течение сезона в открытом состоянии, справа — участок, защищенный противоэрозионным комплексом Энкамат+Флекстерра.

В рамках противоэрозионных мероприятий на олимпийских объектах с участием специалистов профильных компаний применялись технологии в полном объеме.

Понимание физики процессов и опасности эрозии

позволяет хорошо подготовить и решения по инженерной защите, обеспечить их своевременность и полноту на всех уровнях — от поверхности до глубинных, обеспечения устойчивости под нагрузками. В бюджете общей концепции защиты, противоэрозионные мероприятия единицы процентов, но их важность трудно переоценить.

Общая концепция методики борьбы с эрозионными проявлениями



Фото грунта под одной из опор канатной дороги в Красной Поляне

- Понимание целевого результата от применения п/э методик (растительный покров)
- Своевременность применения противоэрозионных решений
- Надежность и долговечность решений – проектируемый срок работы

Дополнительные сложности «на месте» при работе / реагирование

- Нарушения биологической активности в зонах восстановления растительности
- Нарушения в химическом составе почв
- Отклонения по физическим характеристикам
- Наличие водных горизонтов
- Опасность послынного оползания грунтов

Грунтовые анкерные системы для различных применений

- Противоэрозионное / противооползневое укрепление
- Противообвальные решения / Шпунтовые конструкции
- Берегоукрепление
- Укрепление деревьев при пересадке
- Временные конструкции (точки для растяжек и тп)

Референсные объекты с участием компании ЭСТМ с применением противоэрозионных технологий

Интересные объекты с участием ЭСТМ в регионе проведения конференции



Укрепление откосов гидромulчированием. Олимпийская деревня (Лаура)



| Склоны дороги БСК после гидромульчирования и образования травяного покрова (Лаура)



| Защита от эрозии на скальном участке (тех.дорога Лаура). Применяется широкий спектр решений инженерной защиты + гидравлическое внесение плодородного концентрата Проганик



Комплексное противэрозионное решение. Олимпийская лыжная трасса и биатлонный стадион



Противэрозионные мероприятия на линейных объектах

- ГТЦ Газпром / Красная Поляна
 - г/л курорты Альпика, Роза-Хутор, Архыз
 - Транспортный обход Сочи
 - Морские подходы комплекса «Южный поток», п.Варваровка (Анапа)
 - Орнитологический парк г.Сочи
 - Терминал КТК Новороссийск
- Другие интересные объекты с участием ЭСТМ по

контролю эрозии:

- г/л комплекс Охта-Парк, Ленинградская область
- Центр лыжных видов спорта, Кавголово, Ленинградская область
- Рекультивация песчаных карьеров, Красноярский Край
- Гольф-клубы Михайловка, Горки, Земляничные Поляны, Мельничный Ручей (Л.О.)
- Проекты в Нарьян-Маре, Абакане.

Общество с ограниченной ответственностью «Экологические Строительные Технологии и Материалы» (ООО «ЭСТМ»)
197375, г. Санкт-Петербург, ул. Вербная, д. 27
+7 (812) 61-222-16
info@ectm.ru
<https://ectm.ru>

ОРГАНИЗАТОР КОНФЕРЕНЦИИ:



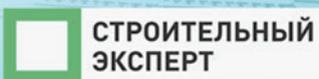
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ:



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЁРЫ:



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

тел./факс +7 (495) 66-55-014

телефон: +7 (495) 66-55-014, www.fc-union.com

e-mail: info@fc-union.com, www.fc-union.com