

# СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ



Олег Киселев



Алексей Спицын



Александр Самко



Артём Иванов



Никита Романов



Андрей Мошенжал

Объемы востребованности материалов и технологий для укрепления грунтов увеличиваются из года в год. Растет и ассортимент материалов, расширяются области их применения.

При этом укрепление грунтов, а также откосов насыпей связано с рядом нюансов. Это и геоклиматические особенности местности, и уместный выбор тех или иных технологических решений для каждой отдельной задачи. На наши вопросы, связанные с данной тематикой, отвечают специалисты ведущих предприятий – участники заочного круглого стола «Сильные стороны укрепления слабых грунтов».

– Какие виды грунтов требуют дополнительных мероприятий при строительстве гидротехнических сооружений, мостов, тоннелей?

**Олег Евгеньевич Киселев, технический директор АО «АРЕАН-геосинтетикс»:**

– По поводу тоннелей сказать с уверенностью не смогу – там своя специфика, а в целом это обводненные глинистые и песчаные грунты, просадочные, насыпные несслежавшиеся, карстообразующие, а также с высоким содержанием органики.

**Алексей Борисович Спицын, технический руководитель Турар® и Tyvek® ООО «Дюпон Наука и Технологии»:**

– Конечно же, это слабые (водонасыщенные глинистые, текучей консистенции, с высоким содержанием органики, несслежавшиеся насыпные), карстообразующие, просадочные, мерзлые и вечномерзлые грунты.

**Александр Владимирович Самко, ведущий инженер-геотехник ООО «ХЮСКЕР»:**

– На основании технической документации инженеры компании «ХЮСКЕР» выделяют две группы грунтов, которые по своим физико-механическим свойствам являются сильно деформируемыми: слабые грунты (с модулем деформации  $E_{oed}$  менее 5 мПа) и грунты с неустойчивыми структурными связями. К первому типу относятся грунты, имеющие в природном залегании очень низкие показатели механических свойств (прочность на сдвиг в природном залегании  $C_v$  менее 0,075 мПа при испытании прибором вращательного среза):

- а) органические слабые грунты (торфы, некоторые виды сапропелей), содержащие более 60% по весу органических веществ;
- б) органо-минеральные слабые грунты (зоторфованные глины, заторфованные илы и т. п.), содержащие от 10 до 60% органических веществ;

в) минеральные слабые грунты (илы, иольдиевые глины, переувлажненные глинистые грунты, грунты мокрых солончаков и т. п.)

К грунтам с неустойчивыми структурными связями относят грунты, которые обладают способностью изменять свои структурные свойства под влиянием внешнего воздействия (увлажнение, перемятие, динамические нагрузки, оттаивание и промерзание и т. д.):

- а) лессовые грунты,
- б) набухающие грунты,
- в) засоленные грунты,
- г) мерзлые грунты,
- д) мелкозернистые водонасыщенные грунты с жестким скелетом и рыхлым строением (мелкозернистые пески, супеси), способные проявлять свойства вязкой жидкости.

При строительстве сооружений на основании из вышеперечисленных грунтов необходимо предусмотреть дополнительные мероприятия по их укреплению или недопущению дополнительного воздействия, способного привести к изменению структурных связей грунта (увлажнение, перемятие, динамические нагрузки, оттаивание и промерзание и т. д.).

– На каких типах грунта строительство инженерных сооружений является наиболее сложным?

**О.Е. Киселев:**

– На мой взгляд, это грунты (если точнее – грунтовые массивы или залежи), наименее точно прогнозируемые в отдаленной перспективе, а именно карстообразующие.

**Артём Анатольевич Иванов, инженер технического отдела ГК «ПРЕСТОРУСЬ»:**

– При строительстве гидротехнических сооружений, мостов, тоннелей наиболее сложными являются следующие виды грунтов:

1. Песчаные грунты. Эти грунты имеют свойство сильно уплотняться под нагрузкой и, как следствие, проседать.
2. Глинистые грунты – одни из наиболее проблемных для строительства. Они имеют все негативные свойства, которые усложняют строительный процесс: промерзают, размываются, вспучиваются, обладают высокой просадочностью.
3. Пылеватые грунты. Данный вид грунта превращается в жижу, когда насыщается водой, соответственно, его поведение сложно прогнозировать.

**Никита Валерьевич Романов, директор по развитию компании Menard в России:**

– Говоря о строительстве таких инженерных сооружений, как эстакада, путепровод, а также автомобильная или железная дорога, стоит заметить, что в нашей стране есть практически все типы сложных для строительства грунтов, а именно: просадочные, слабые глинистые, биогенные, пучинистые, техногенные, многолетнемерзлые грунты. Каждая группа таких грунтов требует определенного инженерного подхода, что предполагает либо проведение мероприятий по их усилению и устранению отрицательных свойств (например, устранение просадочности тяжелыми трамбовками или консолидация мягко-текучепластичных глин вертикальным дренажом с пригрузкой) с преобразованием в искусственные основания, либо замены слабой толши грунтов, либо выполнения свайного фундамента.

**А.В. Самко:**

– В XXI веке технологии и материалы в строительной сфере достигли такого совершенства, что при их использовании работы возможны в любых инженерно-геологических условиях и на любых основаниях. К таким технологиям и материалам следует отнести:

- укрепление грунтов с помощью вяжущих растворов (струйная цементация, глубинное перемешивание и т. д.);
- глубинное уплотнение (с помощью тяжелых трамбовок, с помощью взрыва);
- использование современных свайных технологий (песчаные сваи в бесшовной оболочке из геосинтетического материала, Ringtrac®, производства ООО «ХЮСКЕР»);
- использование современных геосинтетических материалов (геоткани, георешетки) из высокопрочного сырья (полиэфирных, поливинилспиртовых во-

локон), которые позволяют ускорить строительство сооружений на слабых грунтах.

Но, тем не менее, к наиболее сложным условиям строительства, по нашему опыту, следует отнести основания, сложенные из «ультраслабых» грунтов с модулем деформации  $E_{\text{оed}}$  менее 0,5 кПа, с прочностью на сдвиг в природном залегании (метод вращательного среза)  $C_u$  менее 15 кПа. К ним относят:

- а) органические грунты (торф, заторфованные связные грунты);
- б) органо-минеральные и минеральные грунты с текучепластичной и текучей консистенцией (заторфованные глины, заторфованные илы, илы, иольдиевые глины, солончаки и т. д.).

Для строительства инженерных сооружений (насыпей различного назначения) на данных типах грунтов компания «ХЮСКЕР» предлагает высокопрочные армирующие материалы с возможной прочностью до 2500 кН/м.

**– К армирующим конструкциям могут быть отнесены различные элементы, в том числе изготовленные из металла, железобетона, полимерных волокон, геосинтетики и т. д. Какие из них действительно эффективны по большинству показателей?**

**О.Е. Киселев:**

– Каждый конкретный случай диктует свои требования к материалу армирования. Как-то смешно представить себе пролетное строение из геосинтетики. Каждому материалу – свое применение, целесообразность диктуется как инженерными, так и экономическими расчетами.

**А.В. Самко:**

– Наиболее эффективными армирующими элементами, по нашему мнению, являются геосинтетики, так как, в отличие от полимерных волокон, они могут достигать значительных прочностных показателей, сохраняя при этом высокую экономическую эффективность. В отличие от металлических армирующих элементов, геосинтетические материалы не корродируют, значительно увеличивая долговечность армируемой конструкции. В случае же применения оцинкованных защитных покрытий металлических элементов, их экономическая эффективность резко снижается. Железобетонные элементы, имея очень

высокую жесткость, как осевую, так и изгибную, не позволяют грунту включиться в работу, задействовав свою потенциальную прочность на сдвиг. По этой причине армогрунтовая конструкция с железобетонными элементами является экономически нецелесообразной. Геосинтетические же материалы могут иметь оптимальные жесткостные параметры, при которых грунт засыпки тоже участвует в работе армогрунта, тем самым снижая потребность в армировании.

При использовании комбинированных систем, таких как подпорные армогрунтовые стены с железобетонной облицовкой, инженеры ООО «ХЮСКЕР» рекомендуют использовать в качестве армирования георешетки (типа Fortrac®/MPT) или геоткани (типа Robutec®), произведенные из поливинилспиртового сырья (ПВС). Материалы, выполненные из данного типа сырья (ПВС), устойчивы к щелочной среде бетона.

**А.Б. Спицын:**

– В современной строительной практике в последние годы все чаще используются решения с применением инновационных геосинтетических материалов. Одним из таких материалов является термоскрепленный в массе геотекстиль Turar® из бесконечных волокон первичного полипропилена. Он отлично зарекомендовал себя на сложных и важных объектах в РФ и мире. В отличие от других геотекстилей, Turar®, имеющий высокий секущий модуль и показатель ползучести, равный георешеткам из полипропилена, увеличивает несущую способность дороги на просадочных грунтах более чем на 20% (доказано исследованиями НИИ «ТСК», Москва) и существенно уменьшает образование колеи. Тем самым материал позволяет снизить толщину насыпи как минимум на 25%, что позволяет существенно сэкономить при строительстве дорог в труднодоступных местах (подтверждено исследованиями БГТУ, Минск).

**А.А. Иванов:**

– На протяжении 20 лет эффективно применяются в качестве армирующих конструкции из геосинтетического материала, а именно – пространственных полимерных решеток (например, ИППР ГЕОКОРД®). Такие конструкции имеют следующие преимущества:

1. Простота монтажа (при монтаже сокращается потребность в рабочей силе);

2. Возможность использования местного грунта для заполнения;
3. Применение на грунтах с кислотностью  $pH = 3-11$ ;
4. Возможность эксплуатации в условиях контакта с водой, бетоном, почвогрунтами, а также при температурах окружающей среды от  $-60$  до  $+70^{\circ}C$ ;
5. Длительный срок службы конструкции – не менее 50 лет;
6. Логистические преимущества.

**Н.В. Романов:**

– Если под конструкцией понимать и массив грунта, то есть целый ряд технологий для усиления вертикальными армирующими элементами. Наиболее распространены, особенно на Западе, жесткие и полужесткие армирующие элементы. Наша компания успешно применяет целый ряд технологий вертикального армирования грунтов основания при дорожном строительстве – СМС-колонны, щебеночные колонны, грунтовые колонны методом тяжелой трамбовки. Каждое из решений имеет свои преимущества и недостатки, однако можно уверенно сказать, что данные технологии универсальны, технологичны и отвечают стандартам безопасности, чтобы удовлетворять требованиям дорожного строительства. Данные аргументы подтверждаются реализованными нашей компанией проектами искусственных оснований, например, в виде грунтовых колонн в основании насыпи скоростной железной дороги во Франции или СМС-колоннами, усилившими техногенный слой мощностью 9 м в основании съезда при строительстве нового моста в Шотландии.

**– Какие армирующие материалы применяются при возведении насыпей с откосами повышенной крутизны?**

**О.Е. Киселев:**

– Совершенно различные. Металлические, железобетонные, стальные, из углеволокна, синтетические и прочие анкеры, соединенные с облицовкой, либо синтетические ткани и решетки, позволяющие устраивать как жесткую, так и «мягкую» облицовку.

**А.А. Иванов:**

– В качестве армирующего материала при строительстве насыпи (устройстве выемки) с откосами повышенной крутизны специалистами компании «ПРЕ-СТОРУСЬ» разработаны конструкции укрепления с применением инновационной пространственной полимерной

решетки (ИППР ГЕОКОРД®). В зависимости от угла заложения откоса, его высоты, типа грунта используются различные модификации ИППР ГЕОКОРД® (размер ячейки, высота стенки ячейки, наличие армирования нитью, тип перфорации). Также для увеличения срока службы конструкции (предотвращения сползания грунта, нарушения целостности конструкции) дополнительно с пространственной полимерной решеткой могут использоваться:

1. Полиамидный шнур, проходящий через дополнительные отверстия в стенке георешетки от основания откоса к его подошве;
2. Увеличенное количество анкеров на квадратный метр;
3. Анкерная канава.

В некоторых случаях при строительстве насыпей (устройствах выемки) повышенной крутизны используется конструкция подпорной стенки, выполненной из секций пространственной полимерной решетки.

**А.В. Самко:**

– Наряду с применением классических технологий и материалов (бетонные, металлические, железобетонные системы), при возведении насыпей с откосами повышенной крутизны применяют более современные и долговечные геосинтетические материалы (ГСМ). При использовании классических технологий и материалов все понятно: как проектировать, как строить, как изготавливать и т. д. А вот в отношении применения геосинтетических систем до сих пор не выясненными остаются некоторые вопросы, например:

- а) какие виды ГСМ (геоткани, георешетки, тканые или экструдированные) лучше использовать при строительстве откосов повышенной крутизны?
- б) из какого исходного сырья должен быть ГСМ при строительстве откосов повышенной крутизны?

На основании нормативного документа ОДМ 218.2.046-2014 и опыта ООО «ХЮСКЕР», рекомендуем применять при армировании откосов с повышенным углом наклона геоткани тканые или вязаные типа Stabilenka®, георешетки тканые типа Fortrac®Т и Fortrac®МРТ, выполненные из высокопрочного и малодеформируемого полиэфирного или поливинилспиртового сырья. При использовании данных материалов дол-

говечность эксплуатации конструкции будет максимальна (более 100 лет).

**Андрей Вячеславович Мошенжал, технический директор ООО «Строй-Импульс»:**

– Решение с применением высокопрочных геотекстильных полотен, из которых формируется откосная часть насыпи, является относительно экономичным и простым в исполнении. Данное решение может быть скомбинировано с применением бетонных блоков в виде пассивной и активной облицовки, с целью формирования эстетического вида конструкции. Не стоит забывать о различных удерживающих конструкциях – например, о подпорных стенках в различных исполнениях, или гравитационных стенах. В любом случае, при выборе инженерно-технического решения требуется тщательный анализ принятых к рассмотрению вариантов, при соответствующих достаточных инженерно-геологических изысканиях и других исходных данных.

**А.Б. Спицын:**

– Понятие «откос повышенной крутизны» очень широкое, и оно определяется прежде всего материалом, из которого сооружена насыпь или сложена выемка, гидрогеологическими и климатическими условиями. Для обеспечения необходимого армирования считается баланс опрокидывающих и удерживающих сил (или моментов), необходимых для обеспечения нормативного запаса устойчивости. Российскими нормативными документами предлагается обширный перечень групп материалов, используемых в каждом конкретном случае. Накопленный опыт показывает, что использование геотекстиля Турат® в обоснованных случаях позволяет увеличить угол заложения откоса сверх нормативного без снижения запаса устойчивости откоса.

**– Какие существуют способы предотвращения развития водной и (или) ветровой эрозии?**

**А.В. Мошенжал:**

– Традиционным способом защиты откосов от ветровой и водной эрозии является биологический – посадка древесно-кустарниковой растительности и посев многолетних трав. Первый вариант подходит для применения в качестве «защитного экрана» для ограждения, например, больших полей сельскохозяйственных угодий от



двух разновидностей эрозии, но применительно к укреплению откосной части инженерных сооружений данное решение может быть неприемлемо из различных соображений технического и экономического характера. Вторым вариантом – с применением посева из многолетних трав – позволяет решать как локальные задачи, например, укрепление откосов насыпи под небольшое площадочное сооружение, так и задачи с укреплением линейно протяженных объектов, например земляного полотна железной дороги и т. д. Существенным недостатком данного варианта является сложность удержания на период формирования корневой системы растительного грунта на откосе по причине атмосферных осадков и других природных факторов.

Сегодня все большее распространение приобретает использование геосинтетических материалов, а именно геоматов. Такие материалы успешно зарекомендовали себя как эффективный способ улучшения свойств грунтов, а также в качестве защиты их от природно-климатических воздействий. Следует отметить, что не всегда по техническим причинам представляется возможным применение данного типа защиты откосной части сооружения. Это может быть связано с необходимостью создания более устойчивой защиты грунтового сооружения, например, от паводковых явлений на пойменных насыпях, на подходах к мостам и т. д., где воздействие на откос оказывают в большей степени волновая эрозия (абразия), а также скорость течения воды. В этом случае применяются другие конструктивные решения, которые также допускают применение геосинтетических материалов в ином исполнении.

#### **А.Б. Спицын:**

– Для предотвращения эрозии дорожной насыпи требуются качественные инженерные решения, включающие геотекстиль, сочетающий в себе фильтрующие, разделительные и армирующие свойства. Такой геотекстиль будет защищать насыпь от размывания и смешивания с основанием, а также предотвращать колыматацию. По результатам многолетних исследований, проводимых РУП «Институт Мелиорации» (Минск), доказано, что геотекстиль Turar® эффективно справляется с этой задачей.

#### **А.А. Иванов:**

– Наиболее эффективной защитой для предотвращения водной и ветровой эрозии является конструкция с применением пространственной полимерной решетки. Данная конструкция, заполненная как местным грунтом, так и щебнем или торфо-песчаной смесью, позволяет исключить размывы водотоками, весенними паводками и сезонными ветрами.

#### **О.Е. Киселев:**

– В зависимости от природы и силы воздействия, в этой области применяют каменную наброску, тетраподы (и т. п.), сочетаемые с минеральными фильтрами, а также геосинтетику. В каждом конкретном случае следует учитывать все возможные влияния и воздействия. Если иметь какой-то общий классификатор по природе и силе воздействия, то возможно создать что-то подобное альбому типовых решений для каждого варианта. Так, например, фирма Colbond b.v. создала в свое время рекомендации по применению объемного геомата Enkamat различных модификаций для защиты от водной и ветровой эрозии. Очень просто и наглядно: посмотрел в рекомендации, понял, какие факторы нужно учитывать, ткнул пальцем в график – и получил марку материала. И опыт показывает, что это работает. Конечно же, такая «простота» является плодом длительной исследовательской работы специалистов фирмы и результатом обширного опыта применения.

#### **А.В. Самко:**

– Стоимость восстановления и содержания находится в прямой зависимости от объема вынесенного с эрозией грунта. Зарубежными коллегами из США еще в 1983 году были обследованы автомобильные дороги общей протяженностью около 185 тыс. км, что позволило оценить не только степень эрозии, но и причины ее возникновения. Обследование проводилось дважды: весной после таяния снегов и осенью после прекращения роста трав. На основании полученных данных были выявлены следующие типы эрозии:

- а) размыв – около 81% с обследованных участков;
- б) поверхностный снос грунтов с откосов – около 17% с обследованных участков;
- в) выветривание – около 2% с обследованных участков.

Как мы можем видеть из предоставленных данных, водная эрозия является главным фактором разрушения откосной части сооружения. Для предотвращения чрезмерного выноса грунтов с откосов под воздействием водного потока необходимо:

- а) предусмотреть конструкции по защите откоса от воздействия водного потока;
- б) не допустить чрезмерного смыва грунтов с откосной части сооружения.

Для защиты откоса (устоя моста, насыпи в периодически затопляемом участке и т. п.) от размыва водным потоком зачастую используют классические бетонные системы или системы с каменной наброской. Компания ООО «ХЮСКЕР» предлагает инновационное решение по защите откосов с помощью бетонно-наполняемых геосинтетических матов семейства Incomat®, успешно прошедших испытания на воздействия ледовых нагрузок. Бетонные маты Incomat® состоят из двух соединенных между собой высокопрочных тканых полотен с равноудаленными вертикальными связующими элементами. Пространство между двумя слоями заполняется бетонным раствором на строительной площадке. С начала 1960-х годов данная система успешно используется в качестве противоэрозионной защиты и системы укрепления поверхности.

Для предотвращения чрезмерного смыва грунтов с откосной части сооружения от атмосферных воздействий зачастую используют газонные покрытия или посев трав, но этого, как правило, недостаточно для эффективной защиты. Для того чтобы данная система с посевом трав заработала эффективно, необходимо время закрепления корневой части с грунтом откоса, поскольку в этом интервале могут выпасть значительные осадки, которые нарушат целостность данной защиты. Компания ООО «ХЮСКЕР» рекомендует использовать пространственную противоэрозионную георешетку Fortrac® 3D совместно с травянистым покровом. Трехмерная открытая структура Fortrac® 3D гарантирует защиту от водной эрозии верхних слоев до тех пор, пока функцию защиты не примет на себя растительный слой.

**Редакция журнала «ДД» благодарит участников заочного круглого стола, а также приглашает к дальнейшей дискуссии других специалистов этого направления.**