



**Дарья АКСЕНОВА,**  
руководитель отдела оптовых  
продаж ООО «Комитекс Гео»



**Елена АНТОНОВА,**  
генеральный директор  
ООО «Парагон Групп»



**Виктор ЕЗЕРСКИЙ,**  
исполнительный директор  
ООО «Интегра»

## МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ СЛАБЫХ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА: ВСЕ ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

Как известно, для того чтобы наши автомобильные магистрали были долговечными и могли обеспечивать высокие потребительские свойства в течение всего срока эксплуатации, прежде всего необходимо качественное основание. Для выполнения этого требования при строительстве и реконструкции дорог нужно проводить мероприятия по укреплению и стабилизации грунтов, которые предусматривают использование различных технологий, таких как армирование геосинтетическими материалами, инъектирование бетонными и полимерными составами, струйная цементация («jet grouting») и т. д. В некоторых случаях не обойтись без устройства свайного основания или даже полной замены грунта. Но всегда ли оправдано то или иное решение проектировщика, особенно когда оно принято на основе неточных данных, полученных в результате плохо проведенных инженерных изысканий? На страницах нашего номера мы предлагаем в формате заочного круглого стола обсудить достоинства и недостатки каждого метода, определить возможности их применения и эффективность

Подготовил Сергей ЗУБАРЕВ

**Какие методы усиления и стабилизации грунта вы можете назвать? Какие из них наиболее эффективны и в каких случаях?**

**Виктор Езерский:**

— На рынке сегодня представлены как традиционные технологии устройства и укрепления дорожных оснований из гранулометрических инертных материалов, так и множество новых. Практически весь прошлый век научные институты многих стран мира вели разработку в разных направлениях — устройство дорог непосредственно из местных грунтов за счет обработки их разного рода вяжущими веществами и специальными добавками, устройство дополнительных слоев дорожных одежд из геосинтетических материалов, глубинная стабилизация обводненных грунтов, термическая и электрохимическая обработка почвы и др. Уже с середины XX века наиболее эффективные технологии стали завоевывать рынки Европы, США, Южной Америки и Азии, а в последние десятилетия — и России. Наиболее эффективными можно считать те методы, которые наиболее экономичны и универсальны. Одним из них является стабилизация местных грунтов цементом вместе со специальными добавками — инновационными продуктами, модифицирующими процесс гидратации цемента. Этот метод применяется во множестве отраслей: для дорожных оснований, для иммобилизации (связывания) загрязнений в почве, при строительстве зданий, в гидротехнических целях, в горном деле и т. д. Поэтому наша компания специализируется на выполнении работ именно по данной технологии.

**Дарья Аксенова:**

— Эффективность методов стабилизации и усиления грунтов определяется технико-экономическим сравнением нескольких вариантов, предлагаемых в каждом конкретном случае, зависящих от географического расположения места строительства, природно-климатических условий, гидрогеологических показателей.

Эффективным методом может быть осушение грунтов. Одним из основных факторов их слабости является обводненность, а удаление влаги приводит к значительному их уплотнению и устранению текучести. Применение геокомпозитных материалов (дренажный мат «Геоком») позволяет значительно ускорить процесс консолидации грунтов.



**Сергей СУВОРОВ,**  
руководитель технического отдела  
ООО «ПТК Объединенные Ресурсы»



**Михаил ШЕЙНИКОВ,**  
главный инженер  
ООО ДСК «Стабилизация»



**Константин ШИРОБОКОВ,**  
руководитель Единого  
расчетного центра ФГИК  
«Размах»



Можно назвать также термическое закрепление или обжиг, химический метод (смешивание грунта с химвеществами), электрический метод, электрохимический способ.

Один из наиболее эффективных методов — армирование. Основными преимуществами структур с укрепленным геосинтетикой грунтом являются:

- экономия средств: более крутые склоны могут быть сформированы с использованием армирования, при этом количество заполняющего материала, необходимого для устройства насыпи, уменьшается;
- повышение устойчивости: укрепления увеличивают коэффициент запаса по отношению к скольжению;
- возможность строительства на плохих грунтах: укрепление делает возможным устройство насыпей на слабых грунтах или с использованием материалов, которые непосредственно для этого не предназначены.

Армирование основания земляного полотна на слабых грунтах позволяет повысить его устойчивость и стабильность. В качестве армирующих прослоек используется одно- и двуслоноориентированные геоматериалы в виде георешеток (СО, СД и СДМ с прикатанным геотекстилем), тканых геополотен и геокмполитов (дренажный мат «Геокм»).

Расчеты осуществляются в соответствии с ОДМ 218.5.003-2010 «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог» и «Пособием по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах».

**Михаил Шейников:**

— Существуют различные методы укрепления и стабилизации. Это может быть частичная или полная замена грунта, нагнетание или введение перемешива-

нием в основание различных вяжущих или химических веществ, повышающих либо изменяющих исходные физические свойства, а также термическая обработка, замораживание, электрохимическое воздействие.

Каждый метод выбирается в зависимости от геологических условий и технических возможностей проведения данных работ.

Например, для песчаных и крупнообломочных грунтов наиболее подходит цементация или битумизация. Для глинистых — стабилизация с применением многокомпонентных композиций.

Для укрепления переувлажненных грунтов разработаны методики применения карбамидных, фурфурол-анилиновых, фурфурол-мочевинных, резорцино-формальдегидных синтетических смол. В результате взаимодействия стабилизаторов и коллоидно-глинистой составляющей грунтов образуются материалы, обладающие повышенной прочностью, морозостойкостью и долговечностью.

**Константин Ширококов:**

— Мы выделяем три основных метода:

- цементирование — при неглубокой стабилизации (до 5 м);
- уплотнение взрывом — при глубокой стабилизации (15–30 м);
- заморозка — при неглубокой стабилизации (сезонный метод).

**Елена Антонова:**

— Я считаю, что технология стабилизации и укрепления грунтов является идеальным решением для создания современной транспортной инфраструктуры в нашей стране, позволяющим не только обеспечить необходимую несущую способность оснований дорожных одежд, но и, в большинстве случаев, минимизировать затраты, сроки выполнения работ и потребность в инертных материалах.

Современные ПАВ-стабилизаторы грунтов уже много лет успешно применяют в США, Германии, Голландии, ЮАР, Австралии, Канаде и ряде других стран. В последнее время на эту технологию обратили внимание и отечественные специалисты.

В 2011 году в России был разработан ОДМ 218.1.004 «Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве». Он учитывает накопленный отечественный и зарубежный опыт использования различ-

ных химических добавок и вяжущих и позволяет более эффективно применять данный метод.

Сотрудники ООО «Парагон групп» провели всесторонние исследования химического состава стабилизаторов, выпускаемых компанией Enviroseal Corporation (США), и сделали подбор компонентов из отечественного сырья. Результатом научно-исследовательской работы, осуществленной совместно с рядом партнерских специализированных организаций, стало создание линейки отечественных стабилизаторов грунтов под названием «Парагон», которые являются продуктами нового поколения и производятся на территории России. Они выгодно отличаются не только по соотношению «цена — качество», но и своей технологичностью, безопасностью для окружающей среды и людей, возможностью эффективного применения при всех типах грунтов. Использование технологии позволяет успешно устранить основную причину разрушения дорог — слабые грунты в конструктивных слоях дорожной одежды.

**Какой метод наиболее экологичен и экономичен?**

**Виктор Езерский:**

— Метод стабилизации грунта цементом с модифицирующими добавками дает многократную экономию. Во-первых, в отличие от традиционных технологий, не требуется снятия и утилизации грунта из выемки. Во-вторых, отпадает необходимость в завозе такого же количества инертных материалов. В-третьих, благодаря применению инновационных добавок, возможно дополнительно сократить затраты на строительство за счет увеличенной прочности, эластичности, морозо- и водостойкости, а следовательно, и толщины дорожной конструкции.

Это же касается и экологии — стабилизация минеральными вяжущими (цементом) с модифицирующими добавками натурального происхождения не только не наносит вреда окружающей среде, но и сама эта технология используется для нейтрализации токсичных веществ в почве при консервации полигонов захоронения опасных отходов, рекультивации загрязненных земель, ликвидации разливов нефтепродуктов и т. д. Конечно, только применение качественных высокотехнологичных продуктов дает все указанные преимущества. Компания «Интегра» сделала для себя выбор в пользу модифицирующих продуктов для стабилизации из Германии — StabilRoad® и InfraCrete®,



— прошедших сертификацию в России. Они опробованы по всему миру, в разных климатических зонах и на самых разных типах грунтов. Наш собственный опыт их применения также говорит о стабильно качественном результате.

**Дарья Аксенова:**

— Наиболее экономичным и экологичным нам представляется применение местных строительных материалов совместно с геосинтетикой, предлагаемой нашей компанией:

- по причине экономии на привозимом грунте;
- в силу экологичности (инертности) геосинтетических материалов.

**Михаил Шейников:**

— Выбор метода и его экономическая оправданность будут зависеть от исходных условий и технических возможностей. Как правило, применение стабилизаторов для укрепления грунтов экономически выгодно, так как за счет повышения прочностных параметров существующего основания снижается потребность в привозных материалах.

**Константин Широков:**

— В целом достойны все три перечисленных метода, в зависимости от ситуации.

При необходимости стабилизации грунта на небольшой срок можно рекомендовать заморозку, но при длительных сроках этот метод весьма затратен.

Уплотнение взрывом — недорогой метод, однако требует продолжительного времени для достижения эффекта (от полугода до 15 лет).



Стабилизация грунта с помощью цементирования — довольно затратный метод, однако он дает быстрый и продолжительный эффект.

**Сергей Суворов:**

— Для укрепления и стабилизации слабых грунтов оснований существует очень много методов, в том числе и те, что были упомянуты, однако любое конкретное проектное решение выбирается на основе технико-экономического сравнения вариантов, которое учитывает много факторов. Например:

- категорию автомобильной дороги и конструкцию дорожной одежды;
- высоту земляного полотна, наличие и характеристики грунта для его отсыпки;
- протяженность участка со слабыми грунтами;
- мощность и литологический состав слабых грунтов основания, а также их физико-механические свойства;
- сроки строительства;
- обеспечение транспортом, специальным оборудованием и др.

Поэтому нельзя однозначно сказать, какой способ самый экономичный универсально, но можно с уверенностью утверждать, что использование (укрепление) слабого грунта во многих случаях снижает стоимость и трудоемкость работ и повышает темпы строительства.

**Елена Антонова:**

— Полимерные стабилизаторы грунтов нового поколения «Парагон» относятся к технологиям Green Line, являясь совершенно безопасными для здоровья людей и окружающей среды.

При этом технико-экономические расчеты, проведенные на основе фактических производственных затрат и строительных сроков, показывают, что применение в дорожных конструкциях слоев из укрепленных местных грунтов, вместо использования привозных инертных материалов, приводит к снижению стоимости строительства на 10–30%.

**Насколько увеличивается несущая способность грунта при применении предлагаемого вами метода? Предоставляет ли ваша компания технический расчет?**

**Виктор Езерский:**

— Прочность грунтового основания, стабилизированного цементом и специальными добавками StabilRoad® или InfraCrete®, примерно вдвое выше, чем у традиционного основания из песка и щебня (6–14 МПа для разных типов грунта и рецептуры смеси против 3–6 МПа). По сравнению же с грунтовым основанием, стабилизированным только цементом, прочность выше на 30–40%. При использовании данной технологии основания отвечают требованиям, предъявляемым ко всем типам и категориям дорог, а также иных объектов с высокими нагрузками на ось и интенсивностью движения (порты, аэродромы и т. д.). Наша технология, в частности, применяется при устройстве покрытий контейнерных терминалов с нагрузкой на переднюю ось погрузчика 100 тонн и выше.

Выполнение данных работ без лабораторных испытаний местного грунта, расчета конструкции и подбора состава смеси невозможно. Компания «Интегра» применяет метод стабилизации только в тесном сотрудничестве с проектировщиками, представителями производителей модифицирующих добавок и аккредитованной лабораторией. Такой подход позволяет нам гарантировать качественный конечный результат.

**Дарья Аксенова:**

— Насколько и как изменяется несущая способность грунтов основания — это рассматривают в каждом случае отдельно, предварительно сделав анализ и технический расчет предлагаемого решения.

**Сергей Суворов:**

— Увеличение несущей способности зависит в первую очередь от прочности применяемого материала.

Мы предлагаем геополотно (геоткань) с максимальной прочностью на разрыв от 50 до 2000 кН/м и шириной до 5,4 м. Данный материал уже успешно применен при строительстве объектов Олимпиады в Сочи и ЧМ-2018 по футболу.

Применение геополотна позволяет не только увеличить несущую способность основания, но и уменьшить время консолидации насыпного грунта, а также увеличить равномерность осадки, что в совокупности позволяет сократить стоимость и сроки строительства.

Так, еще в 2011 году, согласно отчету научно-технического сопровождения работ государственного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт», на строительстве служебной дороги Березовской ГРЭС при переходе через болото применение геополотна Stabudtex позволило уменьшить конечную осадку и, соответственно, объем грунта для отсыпки до 38%, а сокращение сроков консолидации насыпи составило до 83 суток.

В качестве технического обоснования применения геополотна мы предлагаем следующие виды расчетов:

- упруго-пластической осадки (в том числе с учетом изменения порового давления в соответствии с теорией фильтрационной консолидации);
- времени консолидации земляного полотна;
- сдвига и выпирания слабых грунтов в основании (коэффициент стабильности);
- свайного основания с высокопрочным геополотном в качестве гибкого ростверка;
- песчаных свай в оболочках из высокопрочного геополотна.

*Елена Антонова:*

— Полимерный стабилизатор глинистых грунтов «Парагон LBS» позволяет увеличить несущую способность и водонепроницаемость обработанного слоя, модуль упругости (до 180МПа), устойчивость на сдвиг (до 50%), обеспечить нормативную морозостойкость.

Укрепление супесчаного грунта составом на основе стабилизатора «Парагон М10+50» и цемента позволяет увеличить показатель прочности на растяжение при изгибе на 36,3–40,8%, снизить коэффициент жесткости на 27,5–36,5%, а также обеспечивает повышение показателей морозостойкости (в сравнении с супесью, укрепленной только цементом). Сопротивление сдвигу увеличивается в несколько раз, что делает грунт идеальным для строительства временных взлетно-

посадочных полос и автомобильных дорог, как при устройстве основания, так и в качестве покрытия.

Принципы унификации конструкций с применением комплексно укрепленных грунтов позволяют предусмотреть все разнообразие природно-климатических факторов, исключить часть таких влияний и свести перечень решаемых при конструировании задач к двум основным:

- обеспечение несущей способности и прочности одежды за счет основания;
- сохранение устойчивости дорожной конструкции за счет предотвращения увлажнения рабочего слоя земляного полотна и слоев основания.

Такой подход к проектированию во многих случаях снижает необходимость применения сложных многослойных конструкций, а также специальных узкофунк-



циональных слоев (дренирующих, прерывающих прослоек, морозозащитных, теплоизолирующих и т. п.). Количество, толщина слоев и их сочетание зависят от решаемой инженерной задачи и определяются расчетом и технико-экономическим обоснованием.

**В течение какого срока эксплуатации после применения метода обеспечиваются заявленные характеристики грунта?**

*Виктор Езерский:*

— Как и при любом процессе цементации, конструкция набирает прочность в течение всего срока службы. Поэтому он, можно сказать, не ограничен. Со временем прочность конструкции становится только выше. Причем применение специальных добавок-модификаторов цемента дает ряд важных бонусов



— нейтрализуется действие разрушающих веществ (воды, солей и кислот), а 70% прочности достигаются уже на третьи сутки, что позволяет эксплуатировать дорогу или укладывать асфальт в кратчайшие сроки после стабилизации. Разрушение конструкции возможно только по причине нарушения технологии или неправильного использования дороги (значительного превышения нагрузок), приводящего к разуплотнению стабилизированного грунтобетонного основания.

*Дарья Аксенова:*

— Это тоже следует рассматривать в каждом случае индивидуально.

*Михаил Шейников:*

— Исследования и сравнения характеристик глинистых грунтов, стабилизированных органическими добавками и нестабилизированных, показали увеличение со временем модуля упругости, угла внутреннего трения, удельного сцепления. Это связано с доуплотнением грунтов под воздействием транспортной нагрузки. Наряду с этим у грунтов в водонасыщенном состоянии с течением времени наблюдается общее снижение данных параметров, однако оно незначительно и находится в пределах нормируемого коэффициента.

Сравнение значений характеристик стабилизированных и нестабилизированных глинистых грунтов показало, что в зависимости от места и срока эксплуатации модуль упругости  $E_{упр}$  стабилизированных грунтов выше в пределах от 10% до 190%, удельное сцепление выше в пределах от 25% до 6 раз, угол внутреннего трения  $\varphi$  выше в пределах от 5% до 40%, величина относительного морозного пучения  $\epsilon_{м.п}$  ниже

в пределах от 30% до 55%, величина относительного набухания  $\epsilon_n$  ниже в пределах от 25% до 70%.

Если за условие потери работоспособности стабилизированного грунта принять изменение характеристик в худшую сторону на величину более 30% (по нормируемому коэффициенту вариации  $V_n = 0,3$ ), то срок службы стабилизирующего материала составляет:

- по критерию упругости — не ограничен;
- по критерию прочности — до 10 лет (по удельному сцеплению);
- по критерию морозоустойчивости и набухания — до 9 лет.

*Константин Ширококов:*

— При цементировании грунта заявленные характеристики обеспечиваются не один десяток лет, а впоследствии это основание также может использоваться в качестве фундамента для различных строений.

Уплотнение взрывом тоже обеспечивает прочность на несколько десятков лет, однако и сам эффект также полностью достигается не за один год.

Заморозка применяется при сезонных работах и требует постоянного поддержания состояния грунтов. При отсутствии этого грунт оттаивает и снова становится непригодным.

*Сергей Суворов:*

— Применение геосинтетических материалов для армирования оснований не влияет непосредственно на характеристики слабого грунта. Высокопрочное геополотно позволяет исключить выпор грунта из-под сооружения, увеличить несущую способность подпорных стенок, повысить устойчивость насыпей и оснований, разделить минеральный грунт и слабый грунт, что не дает им перемешиваться. Также улучшаются условия уплотнения нижних слоев насыпи, происходит выравнивание осадки и снижается относительная перегрузка со средней части на краевые зоны. Соответственно, эффект применения геополотна обеспечивается уже на следующем этапе работ после его укладки.

**В каких случаях замена грунта эффективнее?**

*Виктор Езерский:*

— Есть единичные случаи, когда применение метода стабилизации грунта цементом со специальными

добавками невозможно. Это касается в первую очередь характеристик исходного грунта. Наша технология не позволяет стабилизировать высокоорганические грунты (торф и чернозем). Решением является замена непригодного грунта и последующая стабилизация. Также невозможна работа в условиях Крайнего Севера — из-за короткого теплого периода и вечной мерзлоты.

*Дарья Аксенова:*

— Замена грунта оказывается эффективнее в том случае, когда предлагаемые методы укрепления оказываются экономически нецелесообразными.

*Константин Ширококов:*

— Если непригодный грунт залегает глубоко, а работы требуется выполнить срочно, замена будет эффективнее — но это может оказаться дороже.

**Какой из методов наиболее традиционен для России и почему?**

*Виктор Езерский:*

— Плохие дороги — как известно, одна из главных российских бед. Традиционные методы дорожного строительства постепенно уступают дорогу новым, однако их внедрение идет медленно ввиду административных барьеров, дороговизны оборудования и недостатка доверия. На рынке инновационных технологий присутствуют как добросовестные игроки, так и фирмы, компрометирующие новации. Крупные дорожно-строительные компании при этом, как правило, предпочитают традиционные технологии ввиду отсутствия проблем с проектированием и прохождением экспертизы. Новые методы используются или за внебюджетные средства или, последнее время, для удешевления проектов, что в условиях дефицита бюджета крайне важно. Наша совместная разъяснительная работа в СМИ, на различных площадках и форумах очень важна для внедрения передовых эффективных технологий и улучшения как состояния дорожной сети Российской Федерации, так и, в итоге, благосостояния наших граждан.

*Дарья Аксенова:*

— «Традиционными» методами в России являются, прежде всего, самые дешевые и, как следствие, не самые эффективные. Это приводит к малодоступно-



сти современных и качественных строительных материалов на российском рынке.

*Сергей Суворов:*

— На Северо-Западе, где достаточно большая часть автомобильных дорог проходит через болота, очень часто применяется как раз горизонтальное армирование геосинтетическими материалами с частичной выторфовкой слабого грунта, а на подходах к путепроводам — свайное основание с гибким ростверком, в качестве которого, опять же, выступает высокопрочное геополотно.

Данные методы повышения несущей способности оснований доказали свою как экономическую, так и технологическую эффективность на протяжении многих лет за счет незначительного увеличения стоимости и трудоемкости строительства, отсутствия необходимости в дополнительном обучении персонала, а также в специальных машинах и оборудовании.