

Инженерная подготовка оснований и защита конструкций земляного полотна транспортных сооружений возводимых из глинистых грунтов с применением геосинтетических материалов

П.А. Слепнев

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Аннотация: Применение глинистых грунтов при устройстве земляного полотна позволяет сократить использование песчаных грунтов, тем самым снизив количество образуемых карьеров. Однако при этом требуется реализация конструктивных мероприятий, направленных на обеспечение надежности, прочности и безопасности. Одним из способов реализации таких мероприятий является применение геосинтетических материалов. В статье на основании опыта проектирования и строительства объектов с геосинтетическими материалами установлены критерии выбора их типов в зависимости от решаемых задач. Рассмотрена необходимость разработки математической модели, обосновывающей принимаемые решения. Отмечена обязательная организация и проведение геотехнического контроля, как инструмента, позволяющего определить направления развития данной области строительства в целях снижения техногенной нагрузки на территории, связанные с изъятием природных ресурсов.

Ключевые слова: насыпь земляного полотна, транспортное инженерное сооружение, геосинтетический материал, армирование насыпи, противоэрозионная защита, геотехнический контроль.

Постановка проблемы в общем виде.

Как известно, при строительстве дорог основным ресурсом, используемым при сооружении насыпей земляного полотна транспортных инженерных сооружений, является песок, добыча которого связана с разработкой карьеров. В свою очередь, разработка карьеров ведет к нарушению территорий, восстановление которых в дальнейшем практически невозможно без применения специальных мероприятий.

Несмотря на то, что воздействие горнодобывающей деятельности носит временный характер, но за столь короткий период, геологическая среда деформируется настолько масштабно и интенсивно, что, несомненно, сказывается на состоянии геоморфологических, биологических, эстетических составляющих ландшафтов, причем, нарушения, свойственные открытой разработке месторождений, покрывают такую же площадь прилегающей

территории, как и площадь самого месторождения, а в некоторых случаях даже превышает ее.

Таким образом, развитие автомобильных дорог опосредованно оказывает негативное влияние на территории, находящиеся на удалении и не сопряженные с ними.

Деградирующие ландшафты имеют ряд специфичных особенностей, среди которых основными являются скорость развития, интенсивность проявления и длительный период самовосстановления или даже необратимость процесса. Сверхкритические изменения, свойственные техногенным рельефам, могут ускорять такие геологические процессы и явления, как осадка грунтов, оползни, карст, сели и прочие, что исключает дальнейшее функциональное использование территории, без применения комплексных мероприятий по инженерной защите территории, в том числе, и рекультивацию.

Последствия деградации ландшафтов приводят к исключению таких территорий из градостроительного использования или сопряжены с немалыми экономическими вложениями, направленными на их рекультивацию или санацию.

Одним из решений, направленных на снижение использования при строительстве земляного полотна автомобильных дорог является применение глинистых грунтов, извлекаемых при разработке выемок транспортных сооружений, объемы которых значительно превышают объемы песчаных грунтов и отсутствует необходимость серьезных нарушений территорий, связанных с разработкой карьеров.

Наиболее часто используемыми методами, применение которых может повысить надежность геотехнических сооружений, конструкции которых основаны на использовании глинистых грунтов, в соответствии с «Методическими рекомендациями по разработке выемок в глинистых

грунтах влажностью выше оптимальной и использованию этих грунтов для возведения насыпей автомобильных дорог во II и III дорожно-климатических зонах»:

- выполаживание откосов и создание такой конфигурации насыпи, при которой нагрузка могла бы распределяться на большую площадь;
- как один из методов выполаживания – устройство откосов с переменной крутизной склонов;
- нарезка берм, повышающих устойчивость откосов.

Практика проектирования и строительства показывает, что существует ряд инновационных методов, направленных на обеспечение общей устойчивости насыпи и повышение угла заложения откосов свыше нормативных, не оказывающих влияние на безопасность сооружения.

Среди таких мероприятий следует выделить использование геосинтетических материалов. Однако следует также отметить, что основным критерием выбора геосинтетического материала является соответствие его свойств решаемым задачам (например геомат, предназначенный для защиты от эрозии, не может быть использован как дренажный композит, а нетканый геотекстиль в качестве армирующего элемента) [1,2].

Анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы.

Проблемам применения геосинтетических материалов при строительстве транспортных сооружений уделяли большое внимание Щербина Е.В., Кузахметова Э.К., Потапов А.Д., Алексеев А.А., Чижиков И.А. Особое внимание армированию земляного полотна отражено в работах Чижикова И.А. [3], который проводил исследования работы геосинтетических материалов в условиях Западной Сибири. Вопросам возведения насыпей повышенной крутизны посвящены работы Щукина С.Н.

Однако все выполненные работы описывают применение геосинтетических материалов при возведении земляного полотна из классических материалов – песка. Вопросам армирования глинистых грунтов в насыпи земляного полотна должного внимания в работах авторов не уделялось.

Исследовательская часть. Обоснование полученных результатов.

Анализ традиционных методов обеспечения устойчивости насыпей из глинистых грунтов позволил определить основные направления применения геосинтетических материалов в рассматриваемых условиях:

- армирование основания и тела насыпи, для обеспечения общей устойчивости и снижения осадок насыпи;
- армирование откосов земляного полотна, для создания откосов с заложением выше нормативного (в стесненных условиях);
- противоэрозионная защита откосов насыпи, в целях защиты от размыва, а также удержания растительного слоя на откосах с повышенной крутизной.

Сооружение земляного полотна автомобильных дорог должно отвечать требованиям надежности, прочности, безопасности. Для традиционных строительных элементов, конструкции и сооружений действительна общестроительная нормативная база, использование же дополнительных мероприятий по повышению надежности сооружения требует проведения дополнительных расчетов, обосновывающих принимаемое решение.

Армирование основания и тела насыпи, для обеспечения общей устойчивости и снижения осадок насыпи.

Все чаще при строительстве автомобильных дорог, для повышения несущей способности оснований, возведении насыпей с заложением откосов выше нормативных значений применяются геосинтетические материалы, выполняющие армирующую функцию [4,5], что позволяет отказаться от традиционных методов, таких, как замена грунтов, устройство свайных

полей, устройство железобетонных подпорных стен и др. Наибольшее распространение этот метод получил при строительстве дорог на слабых и техногенных основаниях, то есть в тех случаях, когда масштабы строительства достаточно велики. При строительстве на глинистых грунтах, которые обладают низкими показателями физико-механических свойств, использование геосинтетических материалов позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию насыпи. Имеются примеры использования армированных грунтовых (песчаных или гравийных) подушек в качестве оснований зданий, однако они не получили столь большого распространения.

Использование геосинтетических материалов позволяет обеспечить общую устойчивость сооружения [6]. Армирующие элементы, в силу своего функционального назначения, воспринимают касательные напряжения, которые сосредотачиваются на контакте грунта и геосинтетического материала. Эффект армирования грунтов напрямую зависит от значений напряжений контакта (или контактной прочности), т.е. эффект армирования наиболее заметен при высоких значениях напряжений контракта [7,8]. Если прочность контакта незначительна, то эффект армирования минимален. Это определяет контактную прочность, как важный и необходимый расчетный параметр.

Для расчета армированных оснований и грунтовых сооружений используются методы и методики механики грунтов. В настоящее время сохраняется тенденция развития численных методов расчета, использующих нелинейные модели деформирования и прочности грунтов (ОДМ 218.2.027-2012 Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах, Инструкция по применению армогрунтовых конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна ж/д пути №1975Р). Другое направление расчетов рассматривает массив грунта с регулярным частым расположением

армирующих элементов с позиций механики композиционных материалов как анизотропную среду, обладающую некоторыми «эффективными характеристиками». Третье базируется на традиционных представлениях механики грунтов и теории предельного равновесия, так называемые инженерные методы.

Для обоснования правильности принятия конструктивного решения, а также определения прочности армирующих элементов, обеспечивающих общую устойчивость оснований и сооружений, необходимым условием является выполнение расчетов по первому предельному состоянию. Расчеты на деформацию и перемещения (осадку) также являются необходимыми. Расчет осадок выполняется методами теории фильтрационной консолидации, основанной на теории линейно деформированной среды. Наиболее распространены метод слоя ограниченной мощности и послойного суммирования (СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения). Наблюдения за осадками армированных оснований показывают, что эффект армирования основания, сложенного слабыми грунтами выражается в нивелировании осадок и в большей степени влияние армирования на величину осадки зависит от напряженного состояния арматуры.

Свойства грунтов являются основополагающими при расчете их работы в конструкции сооружений совместно с геосинтетическими материалами, поэтому к ним следует предъявлять специальные требования.

В случае использования в насыпи глинистых грунтов слою геосинтетического материала необходимо размещать в песчаных прослойках, гарантирующих их расчетную контактную прочность. Армирующие элементы включаются в работу в процессе уплотнения грунтов и достижения ими проектной плотности. Этот эффект был отмечен в ходе геотехнического сопровождения практически на всех объектах.

Фактор производства работ и требования к уплотнению во многом определяют выбор шага армирования, обычно он находится в пределах от 0,3 до 0,6 м, что соответствует требованиям расположения песчаных прослоек. На основании опыта строительства насыпей с углом заложения выше нормативного, был обоснован оптимальный шаг армирования равный 0,6 м.

Расчет осадок оснований конструкций, выполненных с использованием геосинтетических материалов, выполняется традиционными методами: элементарного суммирования, эквивалентного слоя или слоя ограниченной мощности, в которых армирование не учитывается. Эти методики базируются на теории линейно деформируемой среды, в то время как напряжения, передающиеся на основания, могут превышать предел применимости теории линейно деформируемой среды. Следовательно, прогнозируемые осадки должны быть меньше фактических значений.

Армирование откосов земляного полотна, для создания откосов с крутизной выше нормативной (в стесненных условиях).

При реализации классических методов устройства насыпей из глинистых грунтов заложения откосов в зависимости от влажности колеблются от 1:4 и выше.

Применение геосинтетических материалов позволяет увеличивать заложение откосов. Это достигается за счет обратной анкеровки армирующих геосинтетических материалов и создания такой регулярной структуры на всей высоте откоса.

В этом случае помимо обеспечения общей устойчивости насыпи, необходимо обеспечить ее местную устойчивость за счет удержания грунта в откосе с заложением выше нормативного.

При многослойном армировании оснований и откосов с углом заложения выше нормативного применима схема расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Расчет общей

устойчивости выполняется при заданной прочности арматуры, методом итераций. Затем проводится проверка местной устойчивости и устанавливается необходимая длина анкеровки арматуры.

Шаг армирования целесообразно устанавливать от 0,4 м до 0,7 м, что обосновано расчетами и опытом производства работ. В этих случаях обеспечивается требуемое уплотнение грунтов насыпи при использовании обычной дорожной техники.

Противоэрозионная защита откосов насыпи, в целях защиты от размыва, а также удержания растительного слоя на откосах с повышенной крутизной.

При формировании насыпи из глинистых грунтов, особое внимание следует уделить размыву грунта поверхностным стоком – развитию эрозионных процессов. Для защиты от эрозионных процессов можно использовать как традиционные методы укрепления откосов, а также можно применять геосинтетические материалы, позволяющие препятствовать развитию эрозионных процессов.

Эрозия почв и грунтов приводит к нарушению равновесия природных экосистем и может вызывать нарушения в функционировании технических систем. Эрозионные процессы развиваются под действием природных и техногенных факторов, но при антропогенном воздействии их скорость, интенсивность, масштабы развития и нежелательные последствия существенно возрастают.

Строительство, как фактор антропогенного воздействия на окружающую среду, часто является толчком к развитию экзогенных геологических процессов, в том числе и эрозионных. Поэтому проблема защиты откосов и склонов от развития эрозионных процессов является одной из важнейших как фактор обеспечения экологической безопасности территории.

Для стабилизации эрозионных процессов применяются различные технические средства, но как показывает опыт наиболее надежным и дружественным к окружающей среде остается метод создания устойчивого дернового слоя и озеленение поверхности. Препятствием в реализации этого решения служат – короткий вегетационный период и отсутствие плодородного слоя на поверхности склонов. Ввиду масштабности техногенного влияния, особенно в городской среде, почвы теряют свою плодородность, следствием чего является оскудение травяного покрова или полное его уничтожение. Для озеленения подобных склонов на их поверхность необходимо не только нанести слой плодородного грунта с семенами трав, но и обеспечить его устойчивость [9].

Разрабатывая и внедряя средства противоэрозионной защиты, следует определить основные задачи, которые они должны решить. В первую очередь это:

- организация системы сбора и отвода поверхностного стока с целью снижения скоростей потока воды в период выпадения осадков;
- обеспечение устойчивости плодородного грунта на откосе или склоне, даже во время выпадения осадков;
- создание благоприятных условий для развития корневой системы.

Идеальным будет метод, позволяющий решить сразу все три задачи.

К наиболее распространенным геосинтетическим противоэрозионным материалам относятся геоячейки и геоматы. Геоячейки представляют собой объемные водопроницаемые сотовые структуры, изготовленные из полос геотекстилей или геомембран [8]. Высота геоячеек различна, может быть от 50 до 200 мм. Как правило, для противоэрозионной защиты применяются геоячейки высотой 100 мм. В зависимости от материала лент, геоячейки обладают различной прочностью на растяжение и водопроницаемостью. Водопроницаемость геоячеек из геотекстильных лент сопоставима с

водопроницаемостью песчаных грунтов. Водопроницаемость полимерных лент ничтожно мала, поэтому ленты, применяющиеся для изготовления геоячеек, могут быть предварительно перфорированы. Прочность на растяжение полимерных лент выше, чем прочность лент из геотекстиля.

Геоматы - это также трехмерные структуры из полимерных волокон, соединенных между собой термическим, механическим или другими способами. Геоматы – высокопористые материалы, объем пор в зависимости от марки достигает 90%. Толщина геоматов существенно меньше, чем геоячеек, и изменяется в пределах от 7 до 30 мм. Прочность геоматов на растяжение зависит от полимера и технологии изготовления и достигает 5 кН/м. Для повышения прочности противоэрозионные маты комбинируются с высокопрочными геосетками, что позволяет повысить прочность материала на растяжение до 40 кН/м и более.

Геоячейки и геоматы заполняются растительным грунтом с последующим посевом трав, образуя на поверхности склона или откоса противоэрозионную геокомпозиционную систему. Под геокомпозиционной системой в данном случае подразумевается регулярная структура, состоящая из конструктивных элементов и биотической составляющей. Конструктивные элементы представлены геосинтетическим материалом и минеральным наполнителем, биотическая составляющая – это растения и почва.

Противоэрозионные геокомпозиционные системы, располагающиеся на поверхности склонов и откосов, должны быть устойчивы, и выполнять противоэрозионные функции.

Основными предпосылками к определению устойчивости геокомпозитов на склоне являются:

- обеспечение общей устойчивости защищаемого откоса или склона (соблюдение условий по первому предельному состоянию);
-

- предполагаемая поверхность скольжения системы противоэрозионной защиты – плоская поверхность;
- устойчивость необходимо рассматривать на контакте защищаемой поверхности и защищаемого материала.

Проведенные исследования показали, что наиболее подходящим для защиты от эрозионных процессов материалом является геокомпозит на основе геоматов. Толщиной 2-4 см. Причиной таких выводов стали наблюдения, проведенные нами на различных объектах, где были применены как геокомпозиты на основе геоматов, так и на основе геоячеек. Толщина корневой системы дернового слоя, образующегося на защищаемой поверхности в несколько раз меньше, чем вся толщина геокомпозита на основе геоячеек (3-5 см против 10-15 см). Таким образом, мощность корневой системы не позволяет укрепиться дерновому слою в грунте склона, а его развитие в основном происходит в слое самого геокомпозита. В свою очередь геокомпозит на основе геомата позволяет дерновому слою развиваться в теле склона, обеспечивая тем самым надежное закрепление геокомпозита на защищаемом склоне, тогда как геокомпозит на основе геоячеек постоянно находится в напряженном состоянии и удерживается на склоне только за счет анкерного крепления и прочности материала.

Данные теоретических и практических исследований показывают высокую эффективность использования геосинтетических материалов в качестве противоэрозионной защиты откосов и склонов. Причем мероприятия по защите с использованием данного метода в одинаковой степени могут быть реализованы как на склонах сложенных песчаными грунтами, так и на склонах и откосах из глинистых грунтов.

Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.

Применение глинистых грунтов при возведении насыпей автомобильных дорог косвенно оказывают положительное влияние на техногенную безопасность территорий. Снижение использования песчаного грунта позволяет сократить количество образуемых карьеров, территории которых становятся непригодными для дальнейшего использования без предварительной рекультивации или санации. Причем деградации подвергаются территории не только самих карьеров, но и прилегающие территории по площади сопоставимые с площадями карьеров, а зачастую даже превышающие их.

Однако использование глинистых грунтов в насыпях автомобильных дорог сопряжено с некоторыми трудностями, в число которых входят обеспечение общей устойчивости насыпи, обеспечение устойчивости откосов насыпи, противоэрозионная защита.

В современных реалиях традиционные методы решения этих проблем не всегда применимы, виной тому, как правило, ограничение площадей отведенных под строительство.

Применение геосинтетических материалов позволяет найти решение поставленных проблем, даже с учетом ограничений на строительство. Практика проектирования и строительства показывает, что при разработке решений, включающих использование геосинтетических материалов необходимо особое внимание уделять разработке математической модели, учитывающей работу геосинтетических материалов, а также необходимость организации геотехнического мониторинга. Геотехническое сопровождение строительства служит надежным инструментом в поиске и реализации решений [9], а также способствует накоплению знаний практического опыта, необходимых для формирования научно-технической и нормативной базы по использованию геосинтетических материалов [10].

Литература

1. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. Пер. с англ. В.С. Забавина, под ред. В.Г. Мельника. М.: Стройиздат, 1989. — 281 с.
2. EBGEO. Рекомендации по проектированию и анализу грунтовых сооружений с применением геосинтетических материалов // Немецкое геотехническое общество. В переводе Алана Джонсона, 2009. – 315 с.
3. Чижиков И.А., Слепнев П.А. Применение геосинтетических материалов (геотканей) для обеспечения экологической безопасности строительства нефтегазопромысловых дорог // Современные проблемы науки и образования.– 2012. – №1. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=5346
4. Тяпочкин, А.В. Совершенствование конструктивно-технологических решений армогрунтовых насыпей с подпорными стенами: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.11 // Тяпочкин Алексей Владимирович. – М., 2011. – 23 с.
5. Щербина Е. В. Геосинтетические материалы в городском строительстве и хозяйстве: классификация, термины и определения // Актуальные пробл. городского стр-ва и хоз-ва. Сб. научн. труд. ф-та ГСХ, МГСУ, М., 2001. – с. 54-59
6. Щербина Е. В. Геосинтетические материалы в строительстве. - М.: Изд. АСВ, 2004. – 111 с.
7. Костоусов А.Н. Совершенствование методики расчета армогрунтовых стен для усиления земляного полотна: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.06 // Костоусов Андрей Николаевич. – М., 2015. – 23 с.
8. Щербина Е.В. Научно-методологические основы геоэкологического проектирования полигонов твердых бытовых отходов: автореф. дис. док. тех. наук: 25.00.36 // Щербина Елена Витальевна. – М., 2005. – 39 с.
9. Алексеев А.А. Геоэкологическая эффективность применения геокомпозиционных экранов при восстановлении ландшафтов, нарушенных

горнодобывающей деятельностью: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.36 // Алексеев Антон Александрович. – М., 2005. - 24 с.

10. Слепнев П.А., Володина Л.А. Совершенствование технологии мониторинга городских территорий, подверженных опасным экзогенным геологическим процессам // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сб. трудов Международ. научн. конф. (Москва, 19-21 октября 2011 г.); в 2 т. Т1. М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». М.: МГСУ, 2011, с.397-399

References

1. Dzhouns K.D. Sooruzheniya iz armirovannogo grunta. [Reinforced soil structures]. Per. s angl. V.S. Zabavina, pod red. V.G. Mel'nika. M.: Stroyizdat, 1989. 281 p.

2. EBGEO. Rekomendatsii po proektirovaniyu i analizu gruntovykh sooruzheniy s primeneniem geosinteticheskikh materialov [Recommendations for the design and analysis of earth structures using geosynthetics]. Nemetskoe geotekhnicheskoe obshchestvo. V perevode Alana Dzhonsona, 2009. 315 p.

3. Chizhikov I.A., Slepnev P.A. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №1.; URL: science-education.ru/ru/article/view?id=5346

4. Tyapochkin, A.V. Sovershenstvovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy armogruntovykh nasypey s podpornymi stenami [Improvement of constructive and technological solutions for reinforced soil embankments with retaining walls]. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.11. Tyapochkin Aleksey Vladimirovich. M., 2011. 23 p.

5. Shcherbina E. V. Geosinteticheskie materialy v gorodskom stroitel'stve i khozyaystve: klassifikatsiya, terminy i opredeleniya [Geosynthetic materials in urban construction and economy: classification, terms and definitions]. Aktual'nye probl. gorodskogo str-va i khoz-va. Sb. nauchn. trud. f-ta GSH, MGSU, M., 2001. pp. 54-59

6. Shcherbina E. V. Geosinteticheskie materialy v stroitel'stve [Geosynthetic materials in construction]. E. V. Shcherbina. M.: Izd. ASV, 2004. 111 p.
7. Kostousov A.N. Sovershenstvovanie metodiki rascheta armogruntovykh sten dlya usileniya zemlyanogo polotna [Improving the methodology for calculating reinforced soil walls to strengthen the subgrade]. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.06. Kostousov Andrey Nikolaevich. M., 2015. 23 p.
8. Shcherbina E.V. Nauchno-metodologicheskie osnovy geokologicheskogo proektirovaniya poligonov tverdykh bytovykh otkhodov [Scientific and methodological foundations of geocological design of solid domestic waste landfills]. Avtoref. dis. dok. tekhn. nauk: 25.00.36. Shcherbina Elena Vital'evna. M., 2005. 39 p.
9. Alekseev A.A. Geokologicheskaya effektivnost' primeneniya geokompozitsionnykh ekranov pri vosstanovlenii landshaftov, narushennykh gornodobyvayushchey deyatel'nost'yu [Geocological efficiency of the use of geocomposite screens in the restoration of landscapes disturbed by mining activities]. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 25.00.36. Alekseev Anton Aleksandrovich. M., 2005. 24 p.
10. Slepnev P.A., Volodina L.A. Sovershenstvovanie tekhnologii monitoringa gorodskikh territoriy, podverzhennykh opasnym ekzogennym geologicheskim protsessam [Improving the technology of monitoring urban areas subject to hazardous exogenous geological processes]. Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii: sb. trudov Mezhdunarod. nauchn. konf. (Moskva, 19-21 oktyabrya 2011 g.); v 2 t. T1. M-vo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VPO «Mosk. gos. stroit. un-t». M.: MGSU, 2011. pp. 397-399