



Инновационный подход к реконструкции земляного полотна



Александр ГОРЛОВ

Aleksandr V. GORLOV

An Innovative Approach to Roadbed Reconstruction

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 116)

Статья знакомит с исследованиями в области реконструкции и усиления земляного полотна железных дорог, созданной с участием автора методикой расчётов и проектирования нагельно-сетчатых конструкций, укрепляющих поверхностные откосные части насыпи. Определены рациональные размеры нагелей, предложены инновационные технические решения для земляного полотна под строительство вторых путей, с использованием математического и физического центробежного моделирования. Разработаны лабораторная установка и методика стендовых испытаний армирующих элементов для разных типов нагельных конструкций.

Ключевые слова: железная дорога, земляное полотно, нагель, инновационные конструкции, моделирование, проектирование, стендовые испытания, реконструкция, методы расчёта, армирующие элементы.

Горлов Александр Вячеславович – аспирант кафедры «Путь и путевое хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Повышение надежности инфраструктуры железнодорожного и автомобильного транспорта и обеспечение безопасности движения за счёт внедрения инновационных и ресурсосберегающих технических решений – грунтово-нагельных систем при строительстве и реконструкции объектов земляного полотна (в том числе расположенного на сейсмически активных территориях) является востребованной технологией.

Многолетние исследования и опытно-производственные работы, выполненные в нашей стране и за рубежом, показали эффективность применения армогрунтовых сооружений и нагельно-сетчатых конструкций для усиления земляного полотна. Тем не менее анализ показывает, что недостаточно изучено напряженное состояние армированного грунта, а также мало внимания уделялось исследованиям деформативности армированных геоматериалами грунтовых конструкций.

Основным показателем надёжности строительных объектов является невозможность превышения в них предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчётных нагрузок в течение прогнозного срока службы [1].

В федеральных нормативных документах для оценки надёжности земляного полотна предлагается применять коэффициент запаса, который зависит от категории линии.

Устойчивость откосов определяется путем сопоставления значений расчётных коэффициентов запаса (устойчивости) K_s с допускаемым коэффициентом запаса (устойчивости) $[K_s]$ в соответствии с требованиями СП 32–104–98. Однако в нормативах не учитывается деградация свойств материалов во времени, влияние окружающей среды и т. д. Возникает необходимость учёта потерь поперечного сечения арматуры в процессе эксплуатации.

Для полимерных армоэлементов рабочее усилие не может определяться разрывом при растяжении. Оно мотивировано деформациями, возникающими после завершения строительства, или нагрузками в армоэлементах после релаксации материала под влиянием постоянно действующих напряжений.

Принимая во внимание, что никакой материал не является неизменным, актуальными остается оценка возможных изменений его характеристик во времени и установка коэффициентов, учитывающих эти изменения.

Чтобы оценить рабочее усилие на армоэлементе в течение выбранного расчётного срока службы, надо дать информацию относительно развития деформации при ползучести.

Также актуальной остаётся задача оценки вибродинамического воздействия поездного состава на армогрунтовое сооружение.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА НАГЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При проектировании усиления земляного полотна следует различать особенности расчётов грунтовых анкеров от нагелей. Отличительной чертой нагелей от схожих удерживающих конструкций является совместная работа грунта и элемента крепления, при которой отсутствует передача выдергивающей нагрузки от закрепляемой призмы обрушения и происходит связывание грунтового массива по всей длине [1].

Среди грунтовых нагельных систем можно выделить два основных типа:

- армирование откоса/склона;
- закрепление откоса/склона нагелями с облицовкой сеткой.

Анализ отечественной литературы о производстве грунтовых нагелей показал, что процесс подбора таких параметров нагельного крепления, как шаг в вертикальном и горизонтальном направлениях, диаметр, угол наклона и длина нагелей, должен осуществляться путем расчёта по двум группам предельных состояний (несущей способности и деформативности). При этом отсутствует методика расчёта указанных параметров, а приводятся лишь рекомендуемые диапазоны их значений, которые требуют уточнения в зависимости от грунтовых условий и геометрии укрепляемых сооружений, также целесообразна разработка рациональных значений этих параметров. Для определения условий функционирования целесообразно применение физического центробежного моделирования.

В руководящих документах [1–3] представлена только методика выполнения расчёта по первой группе предельных состояний, исходя из условий устойчивости армогрунтовой стены против сдвига по подошве и опрокидывания относительно точки пересечения поверхности откоса с основанием.

Согласно [3, 4] нагельное крепление представляет собой геотехническую конструкцию, предназначенную для обеспечения устойчивости склонов, откосов насыпей и выемок, вертикальных и наклонных стен котлованов методом установки в грунтовой массив системы армирующих элементов (стальных стержней, труб, композитных элементов и т. п.). Нагели связывают грунтовой массив по всей своей длине, образуя самонесущую гравитационную подпорную стену из армированного грунта.

Нагельное крепление не требует возведения массивной ограждающей конструкции (свайная, шпунтовая, железобетонная и прочие подпорные стенки), его применяют, когда естественные откосы невозможны или нецелесообразны по условиям существующей застройки.

Отсутствуют схемы вероятных разрушений конструкций нагельного крепления, которые необходимо учитывать при расчётах. Поскольку крепление представляет



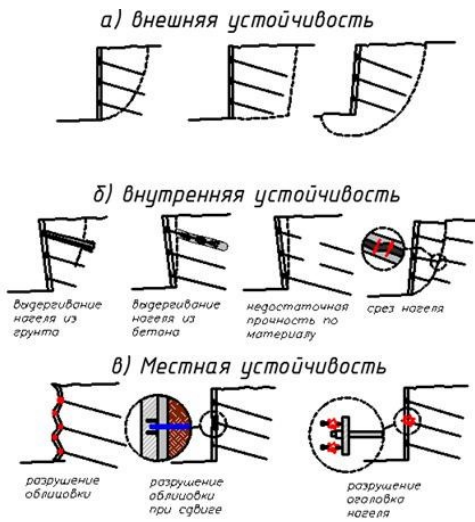


Рис. 1. Основные причины разрушения грунтовой нагельной системы.

собой армогрунтовую систему, то и основные причины ее разрушения подобны наблюдаемым с армогрунтовыми подпорными стенками (рис. 1).

И соответственно методика расчёта должна включать следующие этапы:

- определение параметров армирования массива (количество ярусов, шаг установки, длина, наклон, диаметр нагелей) из условия обеспечения совместной работы нагельных элементов и грунта (внутренняя устойчивость);
- проверка длины нагелей из условия устойчивости армированного массива на

опрокидывание и сдвиг по основанию (внешняя устойчивость);

- определение характеристик защитного покрытия стенки (откоса) и проверка шага расстановки нагелей из условия предупреждения локального вывала грунта между нагелями.

Нами разработаны новая модель и расчётная схема внутренней устойчивости нагельного крепления.

Оценка внутренней устойчивости проверяется, исходя из двух типов поверхностей скольжения – равной и ломаной.

Расчётом оценивается соотношение сил сопротивления и сдвига, действующих на поверхность скольжения. Кроме того, используются коэффициенты надёжности, которые не учитываются в российских нормах, но присутствуют в зарубежных методиках.

Для каждого нагеля оцениваются три параметра:

- сопротивление разрыву;
- сопротивление выдёргиванию из грунта;
- несущая способность оголовка нагеля.

Таким образом, для каждой поверхности скольжения определяется критический параметр для нагеля (по прочности, сопротивлению выдергиванию, несущей способности оголовка) (рис. 2). Несущая способность рассчитывается с учётом положения

Рис. 2. Распределение силы растяжения вдоль нагеля.

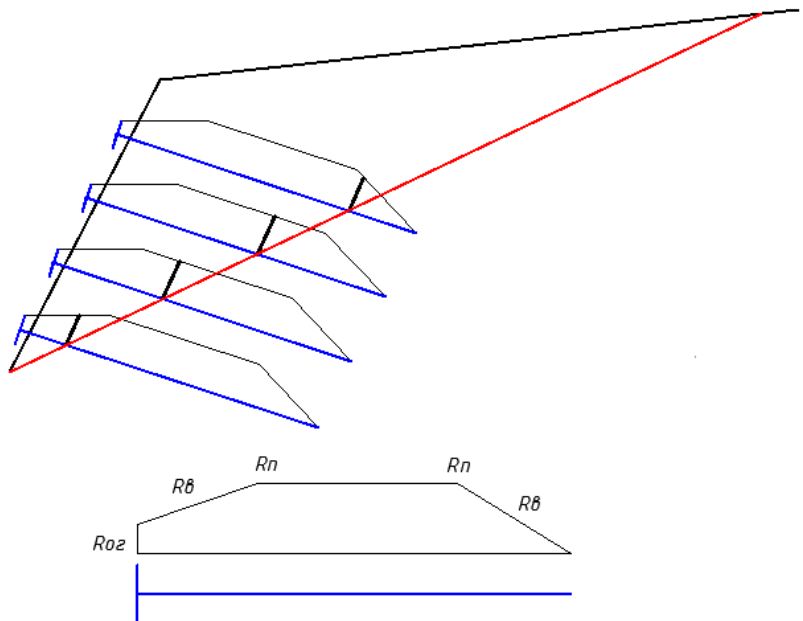




Рис. 3. Общий вид объекта.

его линии пересечения с поверхностью скольжения. Нагель, который находится перед поверхностью скольжения, в расчёте не учитывается. Если поверхность скольжения пересекает нагель, то несущая способность определяется по формуле

$$F = \min(R_b \cdot x, R_n, R_{ог} + R_b \cdot y), \quad (1)$$

где x — длина нагеля позади поверхности скольжения в направлении массива грунта;

y — длина нагеля напротив поверхности скольжения;

$R_{ог}$ — допустимая нагрузка на оголовок;

R_n — прочность нагеля;

R_b — сопротивление выдергиванию.

За рубежом накоплен большой опыт применения анкерных и нагельных конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна [5].

В отечественной практике имеется опыт эффективного применения таких конструкций для стабилизации земляного полотна железных дорог.

В июле-августе 2013 года в границах станции Владимир Горьковской железной дороги проводились работы по восстановлению земляного полотна после оползания откосов выемки, которое произошло в июле 2013 года после продолжительного ливня [6]. Решением вопроса стали выпуск скопившейся воды в откосе выемки с использованием поперечных дренажных прорезей и укрепление откосов анкерными конструкциями, представляющими собой два яруса железобетонных плит, размещенных вдоль откоса, с анкерами длиной 25 м (рис. 3) [7]. Предварительное натяжение в анкерах не производилось.

Еще в одном случае специалистами МИИТ были проведены геотехнические

расчёты для оценки состояния деформирующегося земляного полотна на участке Таёжный—Камарчага Красноярской железной дороги и обоснования возможности его усиления нагельными конструкциями [8]. На основе материалов инженерных изысканий и проектной документации выполнен расчётный анализ для установления причин и условий деформирования длительно эксплуатируемой двухпутной насыпи высотой до 20 м.

УСИЛЕНИЕ НАСЫПЕЙ НАГЕЛЬНО-СЕТЧАТЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Длительно эксплуатируемые насыпи, как правило, повсеместно имеют развитые балластные шлейфы, которые образовались с течением времени при выполнении ремонтов и текущего содержания пути, часто с завышенной крутизной откосов, что может привести к сплывам и деформациям под воздействием природных и техногенных факторов.

Деформативность насыпей с балластными шлейфами во многом определяется влажностным режимом.

Деформации откосных частей насыпей, выемок и склонов могут быть связаны с недостаточной общей и местной устойчивостью.

Традиционным способом стабилизации и усиления таких насыпей является срезка шлейфов, уположение откосов и отсыпка контрбанкетов из дренирующих грунтов. Несмотря на надёжность этих мероприятий, они обладают существенными недостатками: требуют больших объёмов дефицитных дренирующих грунтов, отвода значительной площади под основания



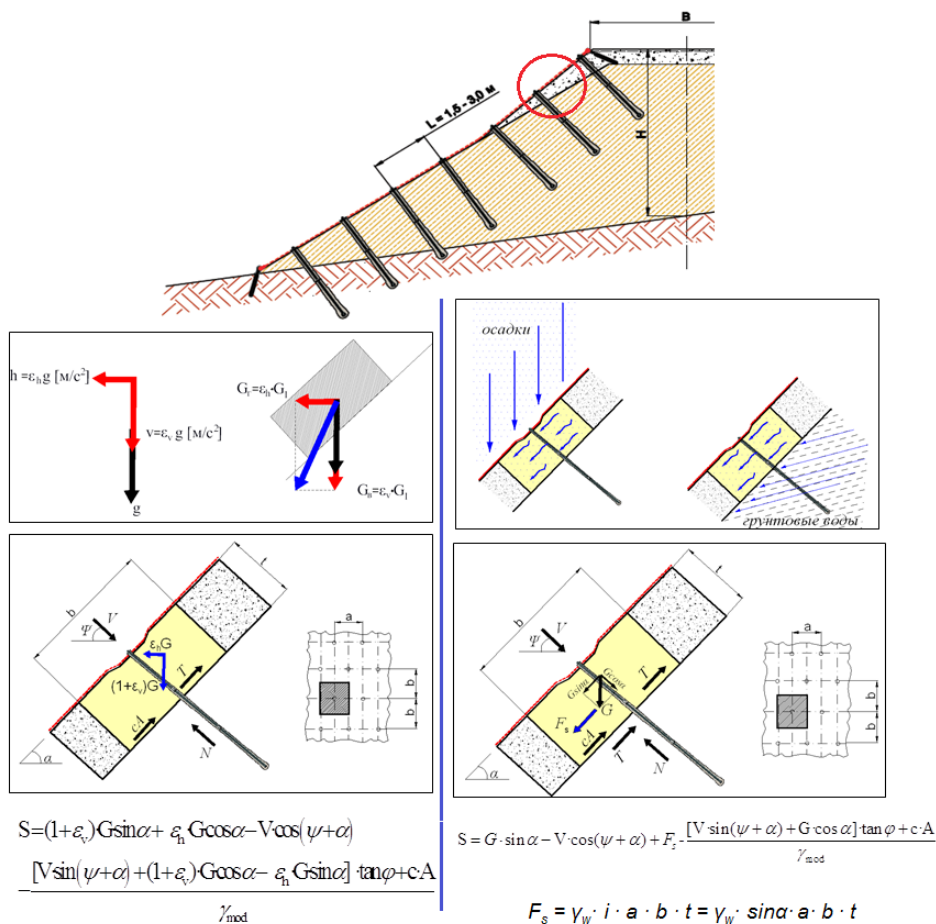


Рис. 4. Расчётные схемы для усиления земляного полотна железных дорог анкерными и нагельными конструкциями.

контрбанкетов, удлинения водопропускных труб, переноса коммуникаций, продолжительных «окон».

На основе выполненных исследований в МИИТ на кафедре «Путь и путевое хозяйство» ранее были созданы способы усиления земляного полотна железных дорог армогрунтовыми конструкциями и предложены технические указания, рекомендации, альбомы групповых технических решений, в числе которых и касающиеся анкерных конструкций.

Альтернативой им может послужить нагельно-сетчатое крепление откосов насыпей, выемок, надтрубной зоны.

Нагельно-сетчатая конструкция представляет собой систему защитного покрытия откоса или склона путём его закрепления высокопрочной металлической стальной сеткой через опорные зубчатые пластины при помощи нагелей, установленных

с заданным шагом по вертикали и горизонтали.

Необходимая плотность армирования определяется расчётами методом конечных элементов.

Применительно к местной устойчивости, в особенности на участках с предопределённой поверхностью скольжения (насыпи с балластными шлейфами, поверхностные слои выемок), специалистами МИИТ разработана методика проектирования и расчётов усиления земляного полотна анкерными и нагельными конструкциями (рис. 4), в которой предусмотрено воздействие неблагоприятных факторов — в том числе землетрясений, инфильтрации атмосферных осадков и грунтовых вод.

В отличие от существующей методики расчёта нагельной крепи учитывается:

- шаг расстановки нагелей в продольном и поперечном направлении;

- различные траектории (механизм) возможных смещений поверхностных слоев насыпи (балластных шлейфов);
- наличие облицовки (сетки);
- влияние внешних факторов на поведение конструкции.

При рассмотрении неустойчивых участков откосов или склонов во внимание берутся две расчётные схемы возможного смещения:

- траектория смещения единого участка массива грунта;
- клиновидные траектории смещения отдельных неустойчивых участков массива грунта.

При оценке равновесия выделенного участка с учётом выполнения условий прочности теории Кулона-Мора величина удерживающей силы нагеля S с сопутствующей силой предварительного натяжения V может быть представлена расчётной формулой, критерием для которой является превышение величины суммарной удерживающей силы над сдвигающей, с учетом коэффициентов запаса.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛОТНА ПОД ВТОРЫЕ ПУТИ

В связи с этим целесообразно рассмотреть и возможность применения нагельных конструкций не только как основного способа усиления, но и как вспомогательной конструкции при устройстве армогрунтовых стен усеченных размеров.

Предложено инновационное техническое решение усиления эксплуатируемого земляного полотна железных дорог при его реконструкции под вторые пути за счёт уширения основной площадки, уположения откоса, устройством армогрунтовой стены с минимальным развитием ее основания и применением нагельных конструкций, которые укрепляют существующую откосную часть земляного полотна и соединяются армирующими элементами поддерживающего сооружения.

При этом решается проблема усиления нестабильных откосных частей, повышается устойчивость земляного полотна в целом, сокращается объем грунта и количество армирующих материалов в подпорной стене. В контексте обозначенной задачи предложен вариант, который позволяет обеспечить экономичность и повы-

сить эффективность реконструкции земляного полотна в стесненных условиях [9].

На основе анализа инженерных изысканий и обследования натуральных объектов, а также нормативной базы была выполнена оценка состояния земляного полотна, определены условия и причины его деформирования, разработана расчётная схема для типового профиля длительно эксплуатируемой насыпи. Подобраны параметры конструкции с учётом использования современных материалов армирования.

Использованные методы исследования: математическое моделирование (инженерные расчёты), макетирование и геотехническое физическое центробежное моделирование.

Земляное полотно было представлено эксплуатируемой насыпью с развитыми балластными шлейфами. Для установления количественных показателей характерного поперечного профиля изучены материалы анализа инженерно-геологических обследований по 183 поперечным профилям 73 эксплуатируемых насыпей. Обследованные насыпи высотой от 1 до 20 м имели возраст от 30 до 100 лет, сооружались из местных грунтов – суглинков и располагались на прочном основании. В качестве примера выбрана характерная насыпь из глинистых грунтов высотой 12 м.

Ради экономии пространства и материалов нами разработана конструкция, представляющая собой армогрунтовую подпорную стену, закрепленную в откосе с помощью нагелей (анкеров), внедренных в тело насыпи. Нагели выполняют две функции в конструкции:

- повышение устойчивости откоса насыпи;
- удержание армогрунтовой подпорной стены от опрокидывания.

Поскольку армогрунтовая подпорная стена расположена непосредственно у основания насыпи и в ее нижней части длина армирующих элементов ограничена откосом, то нужна дополнительная удерживающая сила для закрепления подпорной стены против сдвига и опрокидывания. Такую дополнительную силу создают нагели.

Расчётами была проверена устойчивость насыпи в построечный период после усиления откоса нагелями. Параметры нагелей подбирались с учётом зависимостей расчёт-



Рис. 5. График зависимости коэффициента устойчивости K от угла наклона нагелей и усилий в нагелях N от угла наклона нагелей β° .

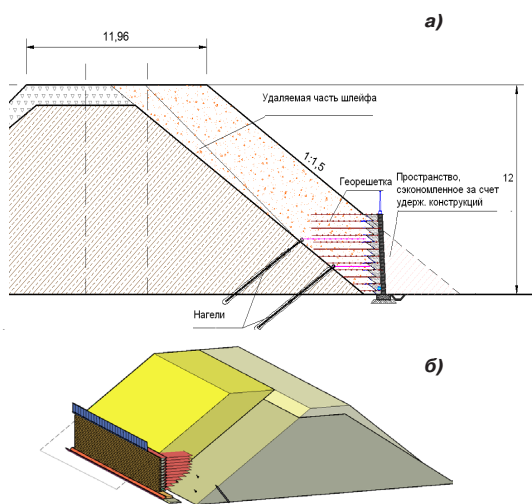
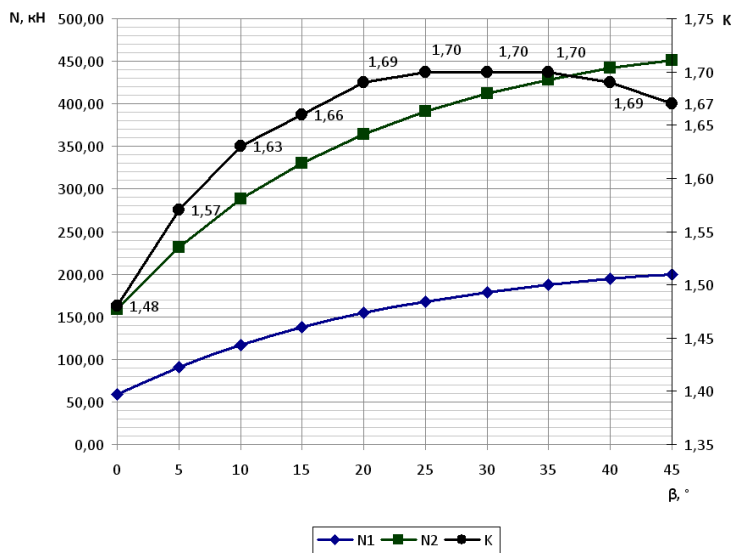


Рис. 6. Конструкция в трех измерениях: а) поперечный разрез насыпи; б) математическая объёмная модель; в) общий вид макета.

ных коэффициентов устойчивости насыпи K и усилий N , возникающих в нагелях от угла их наклона к горизонту. По результатам анализа графиков (рис. 5) был принят угол наклона нагелей 35 град. Поскольку при таком угле возникают наибольшие усилия в нагелях, достигается максимальный коэффициент устойчивости и обеспечивается наиболее эффективная работа конструкции.

Таким образом, была впервые предложена конструкция усиления насыпи под второй путь (рис. 6), которая рекомендуется для применения в стесненных условиях при строительстве и реконструкции земляного полотна железных дорог; при усилении откосных частей земляного полотна без под-

резки, а также при укреплении оползневых склонов. Конструкция является технологичной и может возводиться с полевой стороны дороги.

По результатам расчётов и проектирования насыпи, усиленной армогрунтовой стеной и нагельными конструкциями, был изготовлен ее макет, который был представлен по разделу «Экология и рациональное землепользование» на выставке научно-технического творчества молодежи (НТТМ) на ВДНХ в Москве в 2014 году и награжден медалью [10].

В дальнейшем работоспособность конструкции предполагается проверить методом центробежного моделирования на геотехнической центрифуге МИИТ.

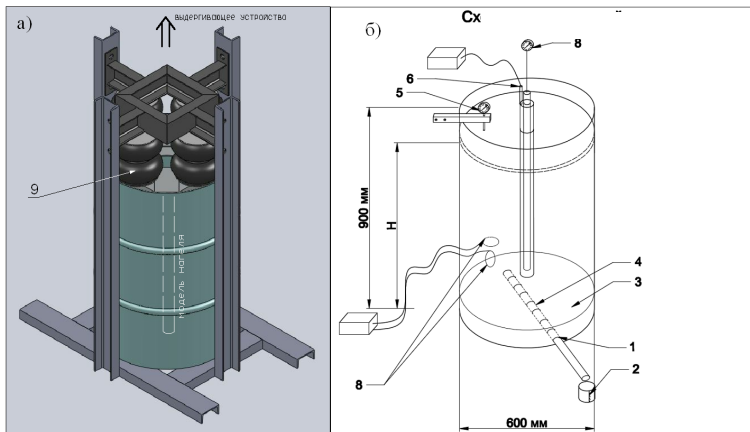


Рис. 7. Схема установки и измерительной системы: а) общий вид; б) измерительная система. 1 – отверстие для вывода жидкости; 2 – мерная ёмкость; 3 – дренаж; 4 – перфорированная трубка; 5, 6 – датчик перемещений; 7 – рама; 8 – датчик давления; 9 – пневматические домкраты.

Таблица 1

Сопrotивление по боковой поверхности анкера/нагеля в зависимости от типа грунта

Тип грунта	Сопrotивление по боковой поверхности q_{sk} , кПа
Средний и крупный гравий	200
Песок, гравелистый песок	150
Супесь, суглинок, глина	100

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для оценки параметров взаимодействия для разных конструкций нагелей и грунтовых условий проводятся испытания на выдергивание с учётом различного напряженного состояния.

Испытания на выдергивание моделируют реальные условия работы нагеля в грунте.

Целью испытаний, проведенных на стенде, является изучение на физических моделях зависимости сопротивления выдергиванию нагельного крепления от основных параметров: типа и показателя текучести грунта, диаметра нагеля и его обжатия окружающим грунтом.

Для понимания механизма взаимодействия по поверхности армирующий элемент-грунт планируется провести испытания на выдергивание. Они должны моделировать реальные условия работы нагеля в грунте.

Анализ существующих методик расчёта несущей способности нагелей по грунту показал, что они оценивают только нагели с цементным телом вокруг металлического элемента. Однако в ряде случаев целесообразно применение в качестве нагелей металлических армирующих элементов (винтовая арматура, труба, металлические стержни) без цементной оболочки, что даже при

более плотной расстановке (меньший шаг в продольном и поперечном направлении) существенно сокращает время устройства и стоимость конструкции.

В соответствии с DIN1054–2005 расчётные значения сопротивлений различных типов грунта по боковой поверхности анкера/нагеля приведены в таблице 1.

Однако методика DIN1054–2005 предусматривает определение несущей способности только самозабуриваемого анкера/нагеля по формуле:

$$F_d = \sigma D l q_{sk}, \quad (1)$$

где D – диаметр анкера/нагеля; l – длина анкера/нагеля; q_{sk} – сопротивление по боковой поверхности анкера/нагеля.

Из формулы (1) следует, что не учитывается влияние давления грунта на боковую поверхность анкера/нагеля, параметров глинистого и песчаного грунта (показатель текучести, коэффициент уплотнения).

Для изучения влияния этих факторов на несущую способность был разработан и изготовлен стенд для испытаний моделей нагелей и разработана методика испытаний.

С этой целью спроектирована и изготовлена новая установка, представляющая собой пространственную конструкцию, состоящую из металлической ёмкости с габаритами 900x600 мм на раме из швел-



леров, нагрузочного устройства из пневмо-домкратов и выдергивающего силового агрегата, через который передается усилие на нагель (рис. 7). Ёмкость может заполняться песчаным и/или глинистым грунтом различной консистенции.

Измерение перемещения анкера/нагеля регистрирует датчик перемещений; силы выдергивания — динамометр статических растягивающих усилий, отградуированных в килоньютонках; давления грунта на нагель — датчики давления.

При подборе эквивалентного материала для пластичных грунтов в качестве определяющих характеристик используется совокупность значений удельного сцепления c и угла внутреннего трения ϕ .

Для учёта конструктивных особенностей различных армирующих элементов планируется испытать показанные в таблице 2 конструктивные типы нагелей.

Программой испытаний предусмотрено проведение четырех полнофакторных экспериментов типа 2^n при варьировании трех факторов: диаметра тела нагеля D (от 0,01 до 0,15 м), показателя текучести грунта I_L (от 0 до 0,5), давления грунта p (от 100 до 300 кПа).

Чтобы учесть влияние трех факторов для четырех конструктивных типов нагелей необходимо провести $(2^3) \cdot 4 = 8 \cdot 4 = 32$ опыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос повышения надежности инфраструктуры железнодорожного и автомобильного транспорта и обеспечение безопасности

Таблица 2

Конструктивные типы нагелей

	гладкий арматурный стержень
	винтовая арматура
	металлическая труба
	винтовая арматура с цементной оболочкой

движения за счёт внедрения инновационных и ресурсосберегающих технических решений — грунтовых нагельных систем при строительстве и реконструкции объектов земляного полотна (в том числе расположенного на сейсмически активных территориях) является актуальным.

Анализ отраслевой нормативной литературы в области проектирования мероприятий по усилению и реконструкции объектов земляного полотна железных дорог показывает, что степень обеспеченности нормативной документацией по применению армогрунтовых конструкций недостаточна.

Не в полной мере в существующей документации отражены вопросы требований к проектированию, строительству и последующей эксплуатации армогрунтовых сооружений.

Основные научные разработки в области применения армогрунтовых конструкций при усилении и реконструкции земляного полотна были проведены в начале и конце 90-х годов, когда выбор армирующих материалов был однообразен.

Новизной подхода является разработка инструкции, регламентирующей порядок оптимального применения армогрунтовых конструкций для стабилизации и усиления земляного полотна железнодорожного пути.

Практическая значимость работ определяется тем, что внедрение грунтовых нагельных систем позволяет проводить усиление земляного полотна в сложных геологических условиях: земляное полотно и искусственные сооружения в районах размыва со стороны моря, на скально-обвальных участках, а также в условиях интенсивной городской застройки (урбанизированные территории).

Имеется положительный опыт применения нагельных систем на участках эксплуатации земляного полотна для усиления высоких насыпей, имеющих недостаточную устойчивость.

Для определения условий функционирования новых схем целесообразно применение физического центробежного моделирования. Поэтому требуются дополнительные исследования по оценке несущей способности нагельных конструкций при их использовании для укрепления земляного полотна.

Итогом таких исследований станет определение рациональной сферы приме-

нения инновационных ресурсосберегающих технических решений – грунтовых нагельных систем при строительстве и реконструкции объектов земляного полотна транспортной инфраструктуры (с использованием центробежного моделирования).

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ существующих методов расчёта анкерных и нагельных конструкций;
- исследовать особенности напряженно-деформированного состояния многорядных анкерных (нагельных) конструкций при различных условиях;
- исследовать закономерности распределения оползневой нагрузки между анкерами (нагельными) в зависимости от конфигурации многоярусного сооружения;
- выявить рациональные конструктивные решения многоярусных анкерных (нагельных) конструкций;
- разработать рекомендации по рациональному использованию анкерных (нагельных) конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по проектированию и технологии устройства анкерного крепления в транспортном строительстве. – М.: ЦНИИС, 1987. [Электронный ресурс]: <http://gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851087.pdf>. Доступ 22.03.2016.

2. Ведомственные нормы и правила ВСН-506–88. Проектирование и устройство грунтовых анкеров.

3. СТО НОСТРОЙ 109–2013. Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения. Требования к результатам работ. – М.: БСТ, 2013. – 215 с.

4. СТО-ГК «Трансстрой»-013–2007. Нагельное крепление котлованов и откосов в транспортном строительстве. Стандарт организации. – М.: Трансстрой, 2007. – 34 с.

5. Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls Publication FHWA-IF-03–017

6. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В., Соковых М. Г. Особенности проектирования усиления земляного полотна анкерными и нагельными конструкциями // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Материалы XI межд. науч.-техн. конф., посвящ.

110-летию Г. М. Шахунянца. – М.: МИИТ, 2014. – С. 263–268.

7. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Инновационные противооползневые конструкции с применением анкерных систем по укреплению земляного полотна при оползневых подвижках косогора на участке Петушки-Владимир Горьковской железной дороги // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике: Материалы науч.-техн. конф. Липецк, 27–29 октября 2013 г. – М.: ИНЭП: Палеотип, 2013. – С. 37–41.

8. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Геотехнические расчеты для обоснования усиления железнодорожной насыпи на участке Таёжный–Камарчага Красноярской железной дороги // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: Материалы межд. науч.-техн. конф. – Ч. 1. – СПб., 2014. – С. 460–465.

9. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Обоснование армогрунтово-нагельного конструктивного решения по устройству земляного полотна под второй путь // Инженерные сооружения на транспорте: Сб. научных трудов / Под общ. ред. Ю. И. Романова. – Вып. 6. – М.: МИИТ, 2015. – С. 49–57.

10. Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В. Расчетное и макетное обоснование усиления земляного полотна армогрунтовыми поддерживающими сооружениями с применением нагельных конструкций // Политранспортные системы: Материалы VIII международной научно-техн. конференции, Новосибирск, 2015. – М.: СГУПС, 2015. – С. 226–232.

11. Виноградов В. В., Фроловский Ю. К., Зайцев А. А., Горлов А. В., Особенности применения методов расчётов устойчивости эксплуатируемого земляного полотна при проектировании мероприятий по его усилению в сложных природных условиях // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Материалы трудов XII межд. науч.-техн. конф. – М.: МИИТ, 2014.

12. Выдрицкая М. П. Методика и планирование экспериментальных исследований анкерных систем // Строительство и техногенная безопасность: Сб. научных трудов. – Вып. 33–34. – Симферополь, 2010. – С. 65–76.

13. Востриков К. В., Скоркин В. Ф. К вопросу расчёта параметров нагельного крепления бортов котлованов // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: Материалы межд. науч.-техн. конф. – Ч. 1. – СПб., 2014. – С. 427–434.

14. Geotechnical engineering circular no. 7 Soil Nail Walls Publication FHWA-IF-03–017

15. Еремин В. Я. Крепление бортов котлованов. Авторский строительный блог «Геотехнические проблемы России», 2014. [Электронный ресурс]: <http://blogostroy.ru/2011/10/06/крепление-бортов-котлованов/>. Доступ 22.03.2016.

Координаты автора: **Горлов А. В.** – gorlov.alex.v@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.12.2015, актуализирована 14.03.2016, принята к публикации 22.03.2016.

Автор статьи является лауреатом конкурса «Молодые учёные транспортной отрасли», организованного Министерством транспорта Российской Федерации. В финале конкурса, состоявшемся 2 декабря 2015 года в рамках «Транспортной недели – 2015» в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), работа заняла первое место в номинации «Развитие транспортной инфраструктуры, инновационные подходы в строительстве и эксплуатации искусственных сооружений».

