



УДК 625.122 (510) (091)

© А. А. Пиотрович, Су Да, 2013

РАЗВИТИЕ СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКИХ НАСЫПЕЙ В ИСТОРИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ КИТАЯ

Пиотрович А. А. – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Строительное производство», тел.: (4212) 40-76-01, e-mail: piotrovich@festu.khv.ru; *Су Да* – асп. кафедры «Строительное производство», тел.: (4212) 40-76-75, e-mail: ompfestu@gmail.com (ДВГУПС)

Решение геотехнических проблем сопутствует историческому развитию и распространению строек железных дорог по всей территории Китая. Комбинирование удерживающих сооружений стало эффективным подходом для укрепления и инженерной защиты высоких железнодорожных насыпей.

The solution of geotechnical problems contributes to the spread of railway construction in China. Combination of preponderant retaining structure has become a major and effective approach to reinforcement and engineering protection of high railway embankment under condition of high mountains.

Ключевые слова: железнодорожное строительство, этапы, геотехническое районирование, удерживающее сооружение, подпорная стена, армированный грунт.

В Китае строительство железных дорог общего пользования началось с 1876 года. Высокоскоростные железные дороги открыли новые времена развития железнодорожного строительства в Китае, как и во всем мире. На обширной территории КНР существуют сложные геологические и природно-климатические условия для строительства грунтовых сооружений – геотехнические условия. Авторами в работе [1] представлено следующее укрупненное геотехническое районирование: с запада на восток территория Китая разделена на три «ступени», согласно высоте поверхности над уровнем моря и континентального расположения (рис. 1).

В зависимости от изменения общественно-экономических условий, история железнодорожного строительства в Китае разделена на пять этапов [5]. В течение этих этапов происходило перемещение железнодорожных строек по ступеням. По результатам исследования авторов, на первом (1876-1911 гг.) и втором (1912-1948 гг.) этапах железнодорожное строительство выполнялось в основном на третьей ступени. На третьем этапе (1949-1978 гг.) распространи-

лись на вторую ступень. С 1979 г. (четвертый этап) на территории первой ступени началось и продолжается железнодорожное строительство.

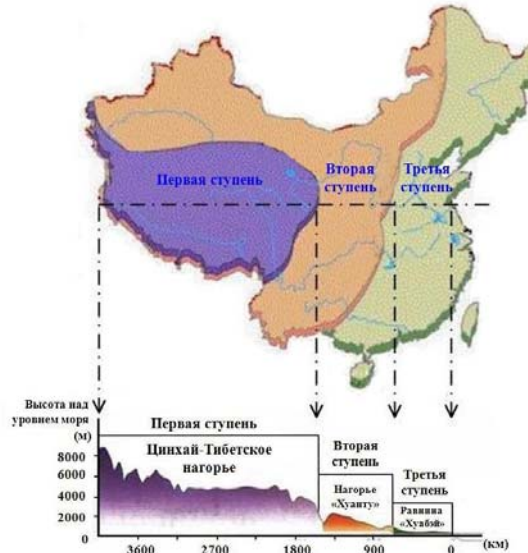


Рис. 1. Укрупненное геотехническое районирование территории Китайской Народной Республики

Продвижение этого процесса реализовалось под воздействием внешних и внутренних причин развития железнодорожного строительства. Внешними причинами являются требования развития страны. А внутренние причины относятся к технической базе самого железнодорожного строительства, в основном к возможности решения геотехнических проблем в сложных геологических и природно-климатических условиях. На каждой ступени существуют разные геотехнические условия, характерные рядом проблем, осложняющих как строительство, так и эксплуатацию железных дорог. На основании статистических материалов (1995 г.) по профилактике и борьбе с геологическими и природно-климатическими проблемами на железных дорогах приведена следующая таблица (табл. 1) [8].

Таблица 1

Виды и распределение геотехнических проблем на железных дорогах по ступеням территории КНР

Ступень и протяженность железных дорог в 1995 г.	Климатический район	Виды геотехнических проблем в существующих рельефных условиях		
		Горные районы	Равнины	Особенные рельефы
Первая ступень 1191 км.	Высокогорный климатический район	нагорное наводнение, селя, оползень ветровая эрозия, мерзлота	наводнение, осадки, мерзлота, песчаная буря, ветровая эрозия, засоление	соленое озеро, каменная пустыня



Продолжение таблицы 1

Вторая ступень 20463 км.	Серединный умеренный пояс и субтропики	ветровая эрозия, мерзлота, горное наводнение, сель, песчаная буря оползень, трещинный грунт, обвал, камнепад, карст, газ	мерзлота, песчаная буря, засоление, наводнение, земле- трясение, осадка, трещинный грунт, мягкий грунт, карст, поток с высоким содержанием песков,	пустыни, лессовидный грунт, карст
Третья ступень 32962 км.	Серединный умеренный пояс и северный тропический пояс	горное наводнение, песчаная буря, оползень, сель, Тайфун, бурный прилив, мерзлота	наводнение, мерзлота, землетрясение, засоление тайфун, бурный прилив	-

Геотехнические проблемы, возникающие на железных дорогах, можно разделить на две группы управляемые и неуправляемые. Управляемой геотехнической проблемой является то, что учитывается проектными решениями. А неуправляемые геотехнические проблемы относятся к тем процессам, возникновение которых вышло из предела управления человеческими силами. Люди только могут уменьшать ущербы, принесенные неуправляемыми бедствиями, путем самого раннего предупреждения. Они включают землетрясение, тайфун, бурный прилив, сели и т.д.

Влияние геотехнических проблем на железные дороги отражено такими деформациями земляного полотна, как пучения, оседания, смещения, разрушение и загромождения. В сущности, геотехнические проблемы сначала разрушают внешнюю среду железных дорог, которая воздействует на состояние грунтовой среды [2], потом в виде деформации появляются в земляном полотне железных дорог. Итак, обеспечения стабильности внешней среды железных дорог стало самой основной задачей их инженерной защиты от геотехнических проблем. Исходя из основного принципа изоляции железных дорог от опасной окружающей среды, удерживающие сооружения стали первоначальным, самым простым и эффективным вариантом решения геотехнических проблем.

На первом (1876-1911 гг.) и втором (1912-1948 гг.) этапах развития железнодорожного строительства большинство железных дорог было построено на приморских равнинах, где природные условия были благоприятны для строителей. В таких условиях выполнялось мало земляных работ, и были низкие требования к стандартам строительства. Возведение земляного полотна относилось к простым земляным и каменным работам. Мало внимания уделялось креплению и инженерной защите железных дорог. В связи с этим часто возникали геотехнические проблемы, которые сильно влияли на безопасность движения поездов. В качестве характерных примеров можно привести такие железные дороги, как участок «Дунгэ-Хуациин» железной дороги

«Цзиньпу» (1907 г.), железная дорога «Юэхань» (1936 г.), участок Баоцзи-Тяньшуй железной дороги «Лунхай» (1945 г.) [6].

В период с 1876 г. по 1948 г. в строительстве некоторых железных дорог применялась такая мера для удерживания и инженерной защиты, как возведение гравитационной подпорной стены. На КВЖД, железных дорогах «Юэхань» (Гуанчжоу-Учан), «Цзинхань» (Пекин-Учан), «Цзинху» (Пекин-Шанхай) и др. было построено большое количество гравитационных подпорных стен [6].

После образования Китайской Народной Республики (КНР) в 1949 г., стройки железных дорог начали перемещаться на вторую ступень, где существуют более сложные геотехнические условия. Началось дальнейшее развитие различных удерживающих сооружений земляного полотна. Улучшение конструкции и применение новых технологий и материалов стали основным путем к развитию таких сооружений.

Гравитационные подпорные стены в качестве самых ранних и популярных видов удерживающих сооружений на железных дорогах Китая широко применяются и улучшаются. Кроме гравитационных подпорных стен, для решения различных геотехнических проблем появился ряд новых удерживающих сооружений, таких как анкерные подпорные стены (с 60-х гг. 20 в.), подпорные стены с анкерными плитами (с 60-х гг. 20 в.), подпорные стены на свайных фундаментах (с 60-х гг. 20 в.), армированные грунтовые подпорные сооружения (с 80-х гг. 20 в.), подпорные стены с предварительно-напряженными якорными канатами (со второй половины 80-х гг. 20 в.), укрепления откосов решетчатыми покрытиями (со второй половины 90-х гг. 20 в.), анкерные подпорные стены с торкретбетоном (со второй половины 90-х гг. 20 в.).

Анализ конструкций удерживающих сооружений показывает, что они преимущественно действуют на два объекта. Во-первых, это породные или грунтовые тела около железнодорожного пути; во-вторых, земляное полотно и основание железнодорожного пути. Действия удерживающих сооружений на породные или грунтовые тела принадлежит к внешней инженерной защите пути от разрушающих геологических явлений и процессов, таких как оползни, камнепады и обвалы. А их действия на земляное полотно и основание пути включает удерживание от оползней и потери грунтов, ограниченное крепление и инженерную защиту от эрозии и абразии.

Согласно существующим конструкциям удерживающих сооружений, их воздействие по удерживанию, укреплению и инженерной защите сосредоточено на трех местах (рис. 2). Первоначальная конструкция такого удерживающего сооружения, как гравитационная подпорная стена, действует на поверхность породного или грунтового тела. Данная конструкция возводилась с применением бетонного раствора и блочных камней. Она за счет своей большой массы выполняет удерживание и инженерную защиту, а также требует прочного грунтового основания под ней для обеспечения ее стабильности.



Когда пришлось строить гравитационные подпорные стенки в слабых основаниях, они строились на свайных фундаментах.

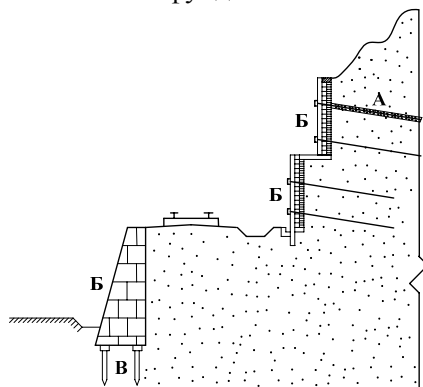


Рис. 2. Объекты воздействия поддерживающих сооружений.
А – внутри породных или грунтовых тел; Б – на их поверхности;
В – основание удерживающего сооружения

Назначение удерживающих сооружений заключается в повышении устойчивости породного или грунтового тела. На первых парах гравитационная подпорная стена осуществляла лишь удерживание, а также пассивно принимала действие бокового давления грунта. В такой конструкции крепление тела грунта не реализовывалось. Инженеры пытались добавить эту функцию. Улучшенный тип гравитационной подпорной стены «грунтовой гвоздь» был типичным примером, в котором повышаются плотность и устойчивость тела грунтов. Надо подчеркнуть, что среди всех улучшенных гравитационных подпорных стен тип «грунтовой гвоздь» одновременно реализовал удерживание, инженерную защиту и крепление. В сущности, «грунтовой гвоздь» является армирующим материалом. Благодаря применению армирующих материалов, назначение удерживающих сооружений перешло от пассивного удерживания к активному креплению.

В настоящее время главной мерой для активного крепления земляного полотна и улучшения свойства грунтов является армирование. А армирование является очень давней технологией в строительстве грунтовых сооружений в целях улучшения свойства грунтов в Китае. К наиболее ранним из сохранившихся сооружений армированного грунта относится Великая китайская стена. Ее отдельные участки были завершены приблизительно в 200 г. до н.э., они представляли собой армированный ветвями тamarиска грунт в виде смеси глины с гравием.

В династии Цин (1644-1911 гг.) Китая при строительстве сети дорог была необходимость о возведении высокого земляного полотна на низинных участках. С целью улучшения несущей способности основания, состоявшегося из слабого грунта, туда укладывались стебли гаоляна. Эта технология явилась прообразом сегодняшнего применения геосинтетических конструкций [10].

В процессе развития технологии по армированию грунтов решающим элементом являются армирующие материалы, которые сначала были стебли или ветви растений, затем грунтовые гвозди (колонны), металлическая арматура,



специальные анкеры и сегодняшние геосинтетические материалы. Применение таких новых армирующих материалов, как геополимеры, значительно повысило эффективность в улучшении свойства грунтов.

Кроме того, для возведения гравитационных подпорных стен нужно большое количество каменных материалов, из-за которых появляется большой объем каменных работ. В итоге это увеличивает затраты на строительство. Для устранения этого проектировались анкерные подпорные стенки, которые не только укрепляют породное или грунтовое тело, но и облегают конструкции удерживающих сооружений на его поверхности. В процессе развития удерживающих сооружений сформировалась новая тенденция, которая относится к улучшению конструкций подпорной стены, усилению стабильности породного или грунтового тела, комбинированию и применению подходящих конструкций и материалов, улучшению строительного процесса по сроку и технологиям, и также снижению инвестиций в строительство.

Итак, приведенная тенденция развития удерживающих сооружений повлияла на принципы их проектирования и возведения, такие как улучшение свойств грунтов в земляном полотне, инженерная защита откосов, облегчение строительного процесса, уменьшение объема земляных работ, повышение экономической эффективности при возведении подпорной стены [4].

С усилением железнодорожного строительства в горных условиях в Китае, увеличилась доля высоких насыпей. Стали актуальными укрепление и инженерная защита высоких насыпей железных дорог. Соответственно со всеми принципами проектирования и возведения одновременно, также нужна комбинированная конструкция удерживающих сооружений. Причем развитие удерживающих сооружений на железных дорогах Китая доказывает, что комбинированная конструкция располагает преимущественными функциями всех применимых сооружений.

Для укрепления и инженерной защиты высоких насыпей железных дорог армированные грунтовые подпорные сооружения имеют заметное преимущество. Однако армирование грунта является развивающейся научно-исследовательской отраслью, в настоящее время отсутствует общепринятая расчетная база в Китае и России [7], а также процесс проектирования конструкций с применением свойств геоматериалов затрудняется. В «Нормах проектирования удерживающих сооружений на железных дорогах КНР» устанавливается, что высота армированной георешетками грунтовой подпорной стены насыпей железных дорог не должна превышать 10 м [3]. Причем норма только подходит к проектированию бесступенчатого армированного грунтового подпорного сооружения. Эти моменты в определенной степени ограничивают развитие армированных грунтовых подпорных сооружений. В Китае с целью способствования ее развитию многие фундаментальные исследования, в основном в экспериментальной части, субсидировались национальными научно-исследовательскими фондами.

Научно-исследовательской группой во главе с профессором Ян Гуанцин Шицзячжуанского железнодорожного университета в г. Шицзячжуан КНР с



участием авторов была разработана подпорная стена из монолитной железобетонной облицовки в единстве сетконов армированных георешетками насыпей [9]. Она является новой комбинированной удерживающей конструкцией, причем в экспериментальных исследованиях в КНР получены положительные результаты в решении крепления и инженерной защиты высокого земляного полотна высотой более 10 м.

В данной конструкции комбинируются три вида удерживающих сооружений, которые могут самостоятельно функционировать для удовлетворения отдельного требования к креплению и инженерной защите. Перечислим эти удерживающие сооружения и их функции:

1. Анкерная подпорная стена из монолитной железобетонной облицовки (рис. 3). Данная конструкция состоит из двух частей – арматура в качестве анкера и облицовка, которая возведена торкретированием бетона на готовую арматурную сетку. Части анкерных арматурных элементов, которые находятся вне грунтового тела, сгибаются вверх. Готовая арматурная сетка зацепляется за эти элементы. Анкерные арматурные элементы уплотняют тело грунта внутри него, а также за счет трения между арматурой и телом грунта уменьшают боковое давление грунта на подпорную стену и повышают стабильность облицовки. В сущности, арматура является одним из армирующих элементов. Облицовка с крутым углом удерживает тело грунтового массива и обеспечивает инженерную защиту от эрозии. Анкерная арматура поддерживает облицовку и уменьшает воздействие массы облицовки на основное.

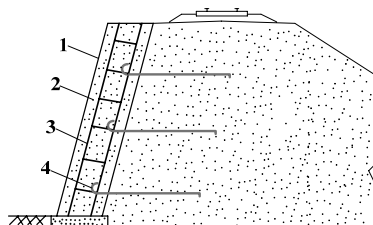


Рис. 3. Анкерная подпорная стена из монолитной железобетонной облицовки

1 – облицовка; 2 – бетон; 3 – арматурная сетка; 4 – арматура

2. Армированное грунтовое подпорное сооружение (рис. 4). Несколько слоев георешеток укладывается горизонтально в грунт. Взаимодействие между грунтом и георешетками обеспечивается исключительно за счет трения, вызванного гравитационными силами. Чем выше тело грунтового массива, тем сильнее это трение. Таким образом, георешетки повышают устойчивость грунтов и улучшают их свойства. В итоге армогрунтовое подпорное сооружение обеспечивает удерживание и инженерную защиту земляному полотну железных дорог, но не снижает воздействия бокового давления грунта насыпей на подпорную стену. Это относится к пассивному удерживанию.

Принцип действия георешетки в теле грунтов приносит новую идею по креплению высоких насыпей железных дорог. Можно укладывать георешет-

ки в грунт насыпей. Таким образом, повысится устойчивость самого тела грунта насыпей, а также облегчается боковое давление, действующее на подпорное сооружение. Главное, что реализовалось активное крепление. Причем назначение подпорной стены перешло от преимущественного удерживания к инженерной защите, а также армирующие элементы вынесены из подпорного сооружения в удерживаемый объект и стали главной силой в обеспечении стабильности и безопасности насыпей.

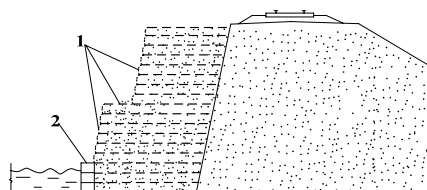


Рис. 4. Армированное грунтовое подпорное сооружение
1 – георешетка с грунтом; 2 – бетонные блоки или габионы

3. Сеткон (сетчатый контейнер с каменным материалом) [7]. В предлагаемой удерживающей конструкции сетконы укладываются между облицовкой и армированным георешетками телом грунта (рис. 5). Каждый слой георешетки имеет остаточную часть, которая обертывает одну секцию сетконов снаружи и заворачивается вверх. Верхняя секция сетконов наваливается на горловины нижней части и укрепляет ее своим весом. Благодаря сыпучей засыпке в сетконах, они могут эффективно облегчать боковое давление грунтов, действующее на подпорную стену. Кроме того, сетконы еще предоставляют инженерную защиту за подпорной стеной телу грунтов насыпей от эрозии и абразии. Итак, сетконы являются переходной частью во всей комбинированной конструкции. Они одновременно предоставляют защиту другим конструкциям, которые размещены перед и за ними. Кроме того, они имеют хорошую функцию по дренажу, а также их фильтрующая структура может эффективно держать грунты в процессе дренажа.

На основании преимущественных функций всех применимых удерживающих сооружений разработанная комбинированная конструкция теоретически может выполнять укрепление и инженерную защиту для насыпей железных дорог, высота которого превышает установленный стандарт соответствующими нормами в КНР (рис. 5). Учитывая большую высоту насыпей и отличие действия гравитационной силы на его разных высотах, насыпь разделяется на верхнюю и нижнюю часть, в которых укладываются два типа георешеток с разными характеристиками.

Большая масса гравитационных подпорных стен позволяет только распределять боковое давление грунта за стенами, а также выполняет управление его действием. А комбинированная конструкция значительно облегчает действие бокового давления грунта, но горизонтальная деформация конструкции легко приносит разрушение монолитной части. Итак, требуется реализация управления горизонтальной деформацией.

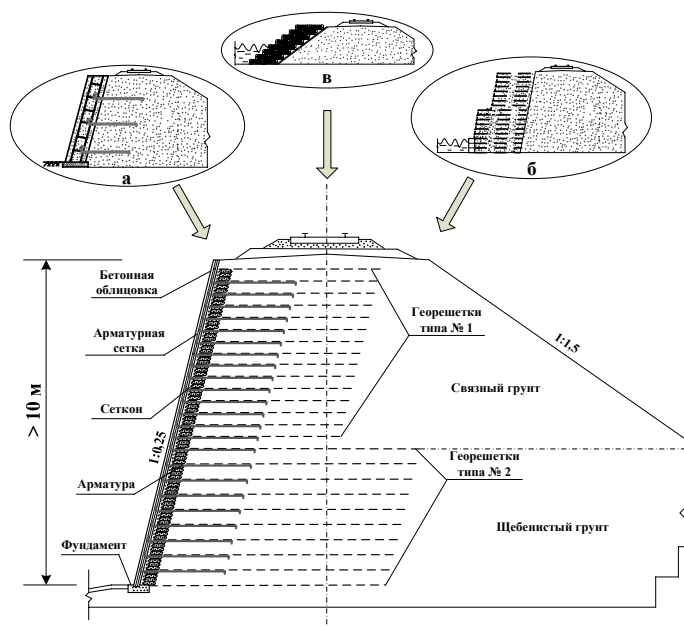


Рис. 5. Схема предлагаемой комбинированной конструкции подпорной стены для насыпей более 10 м

В начале 2000-х годов на основании результатов исследований по армированным грунтовым подпорным сооружениям были выведены методы расчета таких деформаций [11]. Они были применены в проектировании комбинированной конструкции для управления горизонтальной деформацией. Кроме того, с целью обеспечения безопасности сооружения, мониторинга по всем действиям внутри конструкции и совершенствования расчетной базы для управления горизонтальной деформацией, при государственной финансовой поддержке КНР выполнялись испытания по подпорной стене из монолитной железобетонной облицовки в единстве сетконов и армированных георешетками насыпей. В испытании наблюдались такие показатели, как вертикальное давление тела грунтов, боковое давление тела грунтов, действующее на спину подпорной стены, ползучесть армирующих материалов, то есть георешетки, горизонтальное движение тела грунтов за подпорной стеной по поперечному сечению наружу, горизонтальное движение подпорной стены по поперечному сечению наружу.

Результаты испытания на стройке по данной конструкции [11] демонстрируют, что положение о действии давления грунта и деформации данной подпорной стены вполне удовлетворяет требования к прочности, стабильности, деформации и безопасности конструкции.

Низкие цены полимерных георешеток значительно снизили финансовые вложения в строительство. Крутой откос насыпи уменьшает не только объем земляных работ, но и площадь земли, занятой строительством. Это важно для густонаселенных территорий КНР.

Сборные конструкции эффективно упростили процесс строительства. Данная комбинированная конструкция значительно повысила технико-

экономическую эффективность строительства, в соответствии с современными тенденциями развития проектирования удерживающих сооружений.

Технический прогресс в возведении удерживающих сооружений значительно повышает уровень решения геотехнических проблем, что непосредственно стимулирует распространение железнодорожного строительства по всей территории Китая. Исследование исторического развития многообразных удерживающих сооружений дает возможность решений актуальных геотехнических проблем на железных дорогах.

Библиографические ссылки

1. *Piotrovich A.A., Su Da.* Intergenerational continuity of China railway geotechnics. Khabarovsk: FESTU, 2011. - p. 247-255.
2. *Грицык В.И.* Возможные деформации земляного полотна. Учебное иллюстрированное пособие для студентов вузов, техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2003 – 64 с. – С 11.
3. *Комиссия проработки отраслевых стандартов КНР.* ТВ10025 – 2006 Нормы проектирования удерживающих сооружений земляного полотна железных дорог. Пекин: Издательство Китайские Железные Дороги. 2006.
4. *Кравчук Е.В.* История создания нормативных и правовых основ проектирования зданий и сооружений (XVIII в. до н.э. – XIX в.) / Е.В. Кравчук, В. А. Кравчук // Вестник ТОГУ. – 2013. – № 1(28) – С. 297-306.
5. *Су Да, Пиотрович А.А.* Строительство железных дорог Китая: из XIX в XXI век. Материалы Тринадцатой международной научной конференции «Новые идеи нового века - 2013» / Тихоокеан. гос. ун-т. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – 3 Т. – С. 276-283.
6. *Сунь Юнфу.* История железнодорожного строительства Китая. - Пекин: Типография китайских железных дорог, 2003. – 847 с. – С. 292-295
7. *Федоренко Е.В.* Современные технологии в строительстве: учеб. пособие – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2009. – 96 с. – С. 19.
8. *Филиал по железным дорогам Ассоциации профилактики бедствий Китая, Комитет по специальности гидротехники Ассоциации железных дорог Китая.* Стихийные бедствия на железных дорогах Китая, их профилактика и борьба». Пекин: Издательство железных дорог Китая, 2000. – 573 с. – С 5.
9. *Zhou Qiaoyong, Su Da, Piotrovich A, Yang Guangqing.* Comparative Test Analysis of Tensile Properties of Two Kind of Geogrid. Shijiazhuang: «Value Engineering», 2013 (5) - 329 p. – P 113
10. История развития строительства дорог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.baikе.com/wiki/>.