journal homepage: www.alfabuild.spbstu.ru

doi: 10.34910/ALF.13.2

Обеспечение устойчивости земляных откосов в дорожном строительстве

Ensuring the stability of slopes in road construction

К.В. Войченко ^{1*}, Д.Р. Ибатуллина ², М.П. Загоскин ³,
И.В. Фильковский ⁴

V.K. Voichenko ^{1*}, D.I. Ibatullina ², M.P. Zagoskin ³,
I.V. Filkovsky ⁴

¹⁻⁴ Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

¹⁻⁴ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гражданское строительство,
проектирование дорог,
геодезия,
земляное полотно,
защита откосов,
расчет устойчивости,
осадка

KEYWORDS

civil engineering,
road construction,
geodesy,
subgrade,
landslide protection,
slope stability analysis,
vertical displacement

АННОТАЦИЯ

Одной из актуальных проблем дорожного строительства северо-западного региона является недостаточная устойчивость дорожной одежды в условиях высокой влажности. Укрепление откосов земляного полотна может частично решить эту проблему, а также увеличить срок службы магистралей. Правильный выбор такой конструкции исходя из климатических условий места строительства является важной практической задачей. В данной статье проведен обзор основных сооружений для укрепления земляных откосов, используемых на одном из участков федеральной трассы "Скандинавия". Продемонстрирована конструкция и рассмотрен алгоритм их установки на склон. Произведен расчет устойчивости каждого рассматриваемого укрепления на основе геодезических измерений. Выявлен наиболее надежный способ защиты откосов из представленных, позволяющий свести осадку в течении эксплуатации к минимуму.

ABSTRACT

Currently one of the most actual transportation problems in Saint Petersburg is the insufficient stability of pavement in conditions of high humidity. Strengthening the road embankments is able to solve this problem and increase the service life of the whole structure. So that, an optimal choice of necessary method of protection is an important task. The purpose is to study different methods of strengthening, to consider the specific technical characteristics of each of them and finally, to find the optimal one. The study showed review of the main methods to support subgrade slopes of existing roads. The schemes of used structures are demonstrated. Geodesic measurements of vertical precipitation were carried out on one of the sections of the federal highway "Scandinavia". Based on the calculations, diagrams were constructed and the most reliable method is identified.

Введение

В условиях современного постоянно развивающегося экономического рынка становится особенно важной его логистическая составляющая. А именно быстрота и эффективность, которую сложно представить как без грамотного управления перевозками, так и без широкой транспортной системы. Особая роль в этом отводится именно сетям автомобильных дорог, так как они наиболее всего распространены и удобны.

Одна из актуальнейших задач на сегодняшний день заключается в обеспечении безопасного движения дорожного транспорта. Выполнение данной задачи зависит от множества факторов, одним из которых является устойчивость широко используемых в дорожном строительстве земляных откосов. Учет данного фактора позволяет избежать неблагоприятных последствий в виде преждевременной деформации или разрушения грунта и дорожно-строительных объектов на нем.

Учитывая тот факт, что с каждым годом население все растет, а использование новых земель не предполагается возможным, в черте довольно многих городов дальнейшее горизонтальное расширение

города невозможно. Особенно от этой проблемы страдают крупные города - миллионеры. Помимо планирования «вертикальных» дорожных развязок требуются надежные дорожные покрытия и конструкции, так как с каждым годом количество перевозок только возрастает и загруженность дорог возрастает.

Именно поэтому надежность дорожных конструкций имеет огромное значение, проводятся различные процедуры по их укреплению с использованием современных технологий. Однако не каждый метод может быть применен при любых условиях. При его подборе необходимо учитывать факторы, влияющие на устойчивость земляных откосов. К таким факторам относятся: загруженность движения на дорожном полотне, к которому прилегает откос, крутизна откоса, климатические условия исследуемой области, а также частота движения большегрузного транспорта.

Для дорожного строительства Северо-Западного региона это также одна из актуальнейших проблем. Абсолютное решение в этой области так и не найдено, однако существует множество наработок, применимых для данного региона в том числе.

Обзор литературы

Большой вклад в изучение современных и инновационных технологий, используемых при укреплении земляных откосов в дорожном строительстве, внесли следующие исследователи: Подольский В.П., Николашин Ю.М., Корчагин Н.В., Золявин А.С., Стебенюк А.А., Насымбаева Э.С., Рябова О.В., Dong J., Zhu Y., Ma W. и другие.

Практический и аналитический подходы к решению проблемы неустойчивости земляных откосов были рассмотрены авторами в следующих статьях [1-9].

Работы Подольский В.П. и Ле В.Ч. представляют новый подход в использовании универсальной математической модели при сооружении и укреплении земляных откосов [1,2].

Вопрос использования монолитных и сборных железобетонных конструкций для укрепления откосов затрагивался такими авторами как Золявин А.С. Рябова О.В. Чан В.З., в работе которых представлено решение деформационных и экономических проблем при строительстве транспортных сооружений на пойменных участках, а также плотин [4,5].

Более полное понимание этого вопроса было достигнуто в работах зарубежных исследователей Rasmeemasuang T., Chuenjai W., Bai M., Du Y., Wang X., Dong J., Zhu Y. Lee S.[6-9]. Ими были проанализированы варианты использования различных крепежных и анкерных систем с целью упрочнения элементов земляных откосов. По результатам анализов были выявлены такие недостатки этой конструкции как недостаток осушения водонасыщенных зон в теле земляного полотна и снижение сил прижатия железобетонной плиты к откосу в процессе интенсивного выветривания грунта.

Рассмотрены вопросы, касающиеся факторов, влияющих на устойчивость земляных откосов в работах [9-16].

В работах Shi, L., Cheng, Z.L., Zhang, X.G., Wenxue C., Shuwei T., Xiaosong W. представлено рассмотрение грунтово-почвенных характеристик и факторов, влияющих на их прочность и вязкость. Также были рассмотрены некоторые методы предохранения от эрозийного разрушения и выветривания пород [10,11].

Вопрос влияния остальных климатических условий был рассмотрен такими авторами как Junxin L., Chunhe Y., Jianjun G., Безухов Д.А., Шнайдер В.А., в работах которых были главным образом отмечены температура, влажность воздуха, солнечное излучение, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), смены температур. [12,13]

Различные способы и методики по расчету устойчивости земляных откосов представлены в работах [17-23].

В работах Давыдова А.А., Спасской К.А. рассмотрено решение технических задач по укреплению откосов с помощью изучения геологии местности и типов пород, а также расчета их физико-механических характеристик с учетом геометрических форм и направления линейного сооружения [17,18].

Васильев Ю.П., Денисенко В.В., Ляшенко П.А., Любимова Т.В. в своей публикации акцентируют внимание на расчёте устойчивости земляных откосов в на основе инженерной геодезии и механики грунтов предлагаются системы расчёта устойчивости [20].

Особую роль уделяют инновационным геоматериалам такие авторы как Ю.А.Макарова, Н.А.Устьян, Р.А. Полегуев, Н.С. Глебов, О.Н. Столяров, акцентируя внимание на долговечности удобстве в использовании. [25, 28, 29]

Приведенные работы в данной сфере показали, что игнорирование взаимного влияния откосов в составе сооружения может приводить к серьезным погрешностям в определении степени их устойчивости. Также авторами приведены рекомендации по величине некоторых геометрических параметров откосов, при которых расчет их устойчивости может проводиться без учета взаимного влияния.

Несмотря на многообразие работ, посвященных различным методам укрепления земляных откосов в дорожном строительстве, отсутствуют комплексные исследования по инновационным техническим решениям, позволяющим обеспечить необходимую работоспособность и безопасность сооружения данного

типа во время его эксплуатации именно для Северо-Западного региона с установленными климатическими погодными условиями.

Цель исследования

Выявить наиболее оптимальные способы обеспечения устойчивости земляных откосов в дорожном строительстве Северо-Западного региона.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Изучение основных факторы влияния на данный элемент, определение проблем при его проектировании и последующем укреплении в условиях климата Северо-Западного региона.
2. Рассмотрение всех возможных способов укрепления откосов на примере автомобильной дороги федерального значения «Скандинавия» Северо-Западного региона.
3. Экспериментальное исследование методов упрочнения земляных откосов путем геодезических расчетов и выявление их преимуществ и недостатки сравнительным анализом.

Объекты и методы исследования

Одним из самых глобальных климатических факторов исследуемого региона, влияющих на качество автомобильных дорог, является большое среднегодовое количество осадков, равное 661 мм в год. Как следствие, возникает повышенная влажность на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области, которая по статистике колеблется в диапазоне 90-94% [24]. Эти показатели, безусловно, негативно влияют на многие механические свойства грунтов, являющихся подстилающим слоем для многих сооружений. В условиях повышенной влажности почвы происходит значительное снижение несущей способности земляного полотна автомобильных дорог, что затрудняет ее эксплуатацию и снижает срок службы. [25]

Анализируя изменение отметок основных частей дорожной конструкции, а именно оси автомобильной дороги, кромки проезжей части, бровки земляного полотна, края канавы, в течении длительного времени (2 месяца) мы пришли к выводу, что наибольшему риску подвергается устройство земляного откоса. Такое смещение бровки земляного полотна, то есть и самого положения, и уклона откоса объясняется тем, что данный конструктивный элемент воспринимает нагрузки, поступающие на верхние слои дорожной одежды [12]. Помимо этого, сами откосы и канавы, являются одним из элементов водоотведения и постоянно находятся в контакте с водой и другой жидкостью [6].

Все вышеперечисленные факторы и особенности климата требуют особого внимания при выборе и строительстве водоотводных, защитных и укрепительных сооружений для земляного полотна [9].

С этой целью мы исследовали 3 основных вида укреплений земляных откосов, используемых на 7 участке федеральной трассы «Скандинавия»: габион цинковый с размером ячеек 60*80 мм; геосетка двуслойная АГМ-грунт 50*50; растительный грунт с озеленением (газон).

Критерием, служащим для оценки эффективности того или иного способа укрепления, будем считать величину средней осадки откоса на участке длиной 200 метров, которая будет получена с помощью снятия нивелиром отметок правой по ходу движения бровки земляного полотна. Необходимо отметить, что измерение происходило с интервалом времени в 2 месяца, что позволяет нам судить о качестве и сроке службы определенного укрепления [1].

Ниже приведены результаты измерения в таблицах, а также вычисления для среднего значения осадки. Используемое оборудование: нивелир оптический Sokkia B20-35 с погрешностью 0,5 мм на 1 км; рейка нивелирная TN15 длиной 5 метров. Для проектных и фактических отметок построены графики для каждого типа укреплений. Графики представлены на рис.1.

1. Расчет для укрепления растительным грунтом

Таблица 1 - Пикетаж участка ПК 138+70 – ПК 141+40

Пикетаж	Проектная отметка	Фактическая отметка	Осадка в поперечнике
ПК 138+50	83,099	83,054	0,045
ПК 138+60	82,969	82,935	0,034
ПК 138+70	82,849	82,801	0,048
ПК 138+80	82,719	82,693	0,026
ПК 138+90	82,594	82,546	0,048
ПК 139+00	82,469	82,431	0,038

Продолжение таблицы 1

Пикетаж	Проектная отметка	Фактическая отметка	Осадка в поперечнике
ПК 139+10	82,344	82,307	0,037
ПК 139+20	82,219	82,182	0,037
ПК 139+30	82,095	82,052	0,043
ПК 139+40	81,969	81,931	0,038
ПК 139+50	81,849	81,813	0,036
ПК 139+60	81,719	81,678	0,041
ПК 139+70	81,596	81,553	0,043
ПК 139+80	81,473	81,424	0,049
ПК 139+90	81,351	81,333	0,018
ПК 140+00	81,221	81,198	0,023
ПК 141+10	81,098	81,063	0,035
ПК 141+20	80,972	80,954	0,018
ПК 141+30	80,845	80,811	0,034
ПК 141+40	80,722	80,698	0,024

Абсолютная (суммарная осадка):

$$\sum h_i = 0,045 + 0,034 + 0,048 + 0,026 + 0,048 + 0,026 + 0,048 + 0,038 + 0,037 + 0,037 + 0,043 + 0,0038 + 0,036 + 0,0041 + 0,043 + 0,049 + 0,018 + 0,023 + 0,035 + 0,018 + 0,034 + 0,024 = 0,715 \text{ м} = 71,5 \text{ см}$$

Средняя осадка земляного полотна:

$$H_{\text{ср}} = \frac{\sum h_i}{n} = \frac{0,715}{20} = 0,036 = 3,6 \text{ см},$$

где h_i – значение осадки в i – ом поперечнике, n – количество поперечников.

2. Расчет для укрепления геосеткой

Таблица 2 - Пикетаж участка ПК 73+10 – ПК 75+00

Пикетаж	Проектная отметка	Фактическая отметка	Осадка в поперечнике
ПК73+10	82,543	82,524	0,019
ПК73+20	82,416	82,408	0,008
ПК73+30	82,288	82,271	0,017
ПК73+40	82,156	82,141	0,015
ПК73+50	82,031	82,001	0,030
ПК73+60	81,903	81,888	0,015
ПК73+70	81,793	81,774	0,019
ПК73+80	81,669	81,666	0,003
ПК73+90	81,537	81,501	0,036
ПК74+00	81,412	81,388	0,024
ПК74+10	81,286	81,274	0,012
ПК74+20	81,161	81,127	0,034
ПК74+30	81,036	81,008	0,028
ПК74+40	80,911	80,902	0,009

Продолжение таблицы 2

Пикетаж	Проектная отметка	Фактическая отметка	Осадка в поперечнике
ПК74+50	80,786	80,745	0,041
ПК74+60	80,661	80,643	0,018
ПК74+70	80,535	80,524	0,011
ПК74+80	80,410	80,402	0,008
ПК74+90	80,285	80,263	0,022
ПК75+00	80,160	80,143	0,017

Абсолютная (суммарная) осадка:

$$\sum h_i = 0,019 + 0,008 + 0,017 + 0,015 + 0,030 + 0,015 + 0,019 + 0,003 + 0,036 + 0,024 + 0,012 + 0,034 + 0,028 + 0,009 + 0,041 + 0,018 + 0,011 + 0,008 + 0,022 + 0,017 = 0,386 \text{ м} = 38,6 \text{ см}$$

Средняя осадка земляного полотна:

$$H_{\text{ср}} = \frac{\sum h_i}{n} = \frac{0,386}{20} = 0,019 = 1,9 \text{ см},$$

где h_i – значение осадки в i – ом поперечнике, n – количество поперечников.

3. Расчет для укрепления габионом

Таблица 3. Пикетаж участка ПК 38+20 – ПК 40+10

Пикетаж	Проектная отметка	Фактическая отметка	Осадка в поперечнике
ПК 38+20	81,983	81,981	0,002
ПК 38+30	81,943	81,938	0,005
ПК 38+40	81,905	81,904	0,001
ПК 38+50	81,866	81,861	0,005
ПК 38+60	81,827	81,811	0,016
ПК 38+70	81,788	81,745	0,043
ПК 38+80	81,749	81,741	0,008
ПК 38+90	81,710	81,708	0,002
ПК 39+00	81,671	81,601	0,070
ПК 39+10	81,632	81,628	0,004
ПК 39+20	81,593	81,568	0,025
ПК 39+30	81,554	81,551	0,003
ПК 39+40	81,515	81,502	0,013
ПК 39+50	81,476	81,473	0,003
ПК 39+60	81,437	81,436	0,001
ПК 39+70	81,398	81,391	0,007
ПК 39+80	81,359	81,351	0,008
ПК 39+90	81,320	81,319	0,001
ПК 40+00	81,281	81,264	0,017
ПК 40+10	81,242	81,238	0,004

Абсолютная (суммарная) осадка:

$$\sum h_i = 0,002 + 0,005 + 0,001 + 0,005 + 0,016 + 0,043 + 0,008 + 0,002 + 0,070 + 0,004 + 0,025 + 0,003 + 0,013 + 0,003 + 0,001 + 0,007 + 0,008 + 0,001 + 0,017 + 0,004 = 0,232 \text{ м} = 23,2 \text{ см}$$

Средняя осадка земляного полотна:

$$H_{\text{CP}} = \frac{\sum h_i}{n} = \frac{0,232}{20} = 0,012 = 1,2 \text{ см},$$

где h_i – значение осадки в i – ом поперечнике, n – количество поперечников.

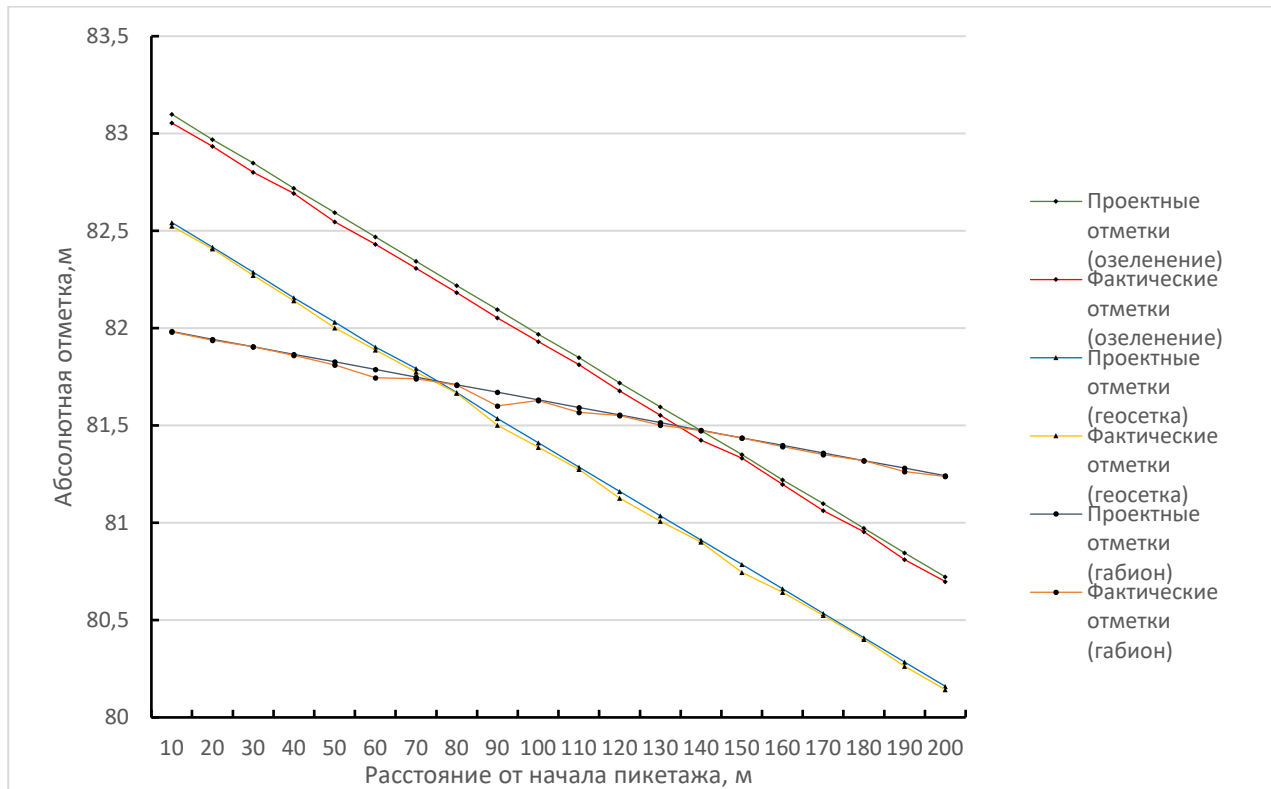


Рисунок 1 - График осадки земляного полотна для каждого типа

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 1 приведена наглядная графическая интерпретация нашего исследования. На графике осадки земляного полотна видно, что наименьшее значение суммарного смещения по вертикали имеет такой вид укрепления, как габион цинковый с размерами ячеек 60*80 мм. За первые 2 месяца эксплуатации данного участка осадка бровки земляного полотна составила всего 1,2 см.

Такие результаты имеют связь с конструкцией самого способа укрепления. Габион обычно используют на участках, где требуется организовать более мощное водоотведение. Как следствие, на таких отрезках автодорог присутствует большое количество труб, желобов, лотков и прочих искусственных сооружений для сбора и отвода влаги с поверхности дорожной одежды [26].

Укрепление откоса дынным видом габиона осуществляется следующим образом. Из панелей цинковой сетки габиона предварительно формируют параллелепипеды, имеющие размер 3*1*1 метра. Далее их устанавливают на необходимый участок [3]. Предварительно, в зависимости от жесткости используемого грунта, под блок габионов может устанавливаться слой материала из геотекстиля [29]. Далее начинают заполнение, для которого используется камень-заполнитель размером от 125 до 200 мм (но не более 250 мм). Согласно нормативным документам, минимальный размер камня должен быть не меньше размера используемой сетки (в нашем случае не менее 60-80 мм). Допускается присутствие лишь 5-7% камней меньшего размера. В этом случае, он должен находиться в центральной части укрепления [27].

Основным преимуществом данного укрепления над другими является вес и жесткость конструкции, благодаря чему она отлично сохраняет форму и защищает грунт от оползней, осадок в результате

заполнения водой [28]. Конструкция габиона на участке автодороги с использованием лотка для водоотведения представлена на рис.2. Чертеж представлен в масштабе 1:200.

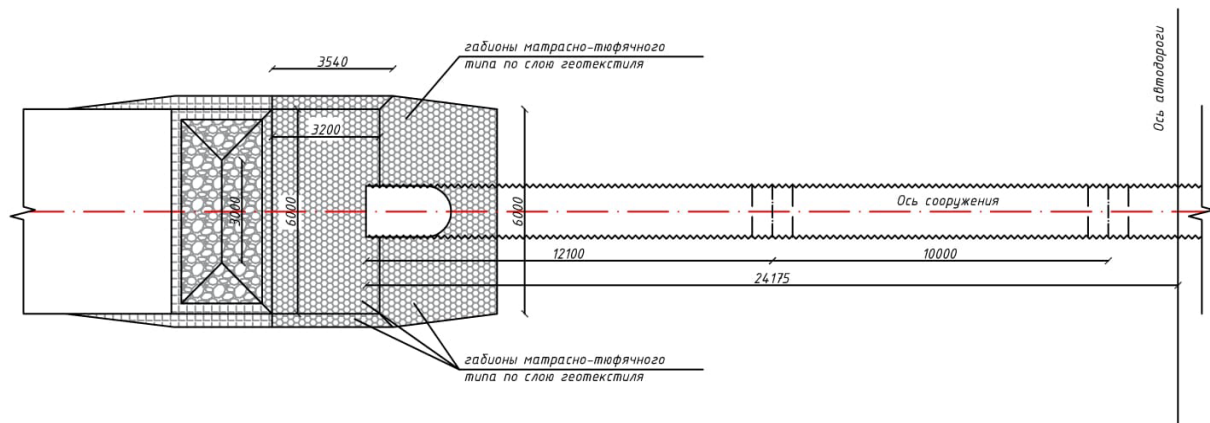


Рисунок 2. Устройства габиона матрасно-тюфячного типа с размером ячеек 60*80 мм

Чуть большая осадка земляного полотна зафиксирована во время использования двуслойной геосетки. Ее значение за время эксплуатации равно 1,9 см. По своему значению данный способ практически аналогичен предыдущему, за исключением только того, что он обычно используется для более жесткого типа грунта, который предварительно может быть подвержен процессу консолидации [23].

Установка данного вида укрепления производится по следующему алгоритму. На уплотненную и выровненную поверхность земляного откоса раскладывают сверху вниз рулоны или полотна геотекстиля, обработанного слоем различных гидрофобных смесей [5]. Затем производится установка геосотового геосинтетического материала и его закрепление металлическими анкерами. Ячейки данного материала обычно наполняют песчано-гравийной смесью, а на поверхность наносят слой грунта, пропитываемого полимерными добавками [7].

Принцип действия укрепления состоит в том, что вода стекает по верхнему слою и затем отводится с помощью других водоотводных сооружений, расположенных в непосредственной близости откоса [6]. В случае подтоплений такой способ укрепления земляного полотна должен не пропустить воду внутрь грунта и предотвратить его осадку и вымывание [15]. Конструкция представлена на рис.3 и рис.4. Чертежи представлены в масштабе 1:200 и 1:100 соответственно.

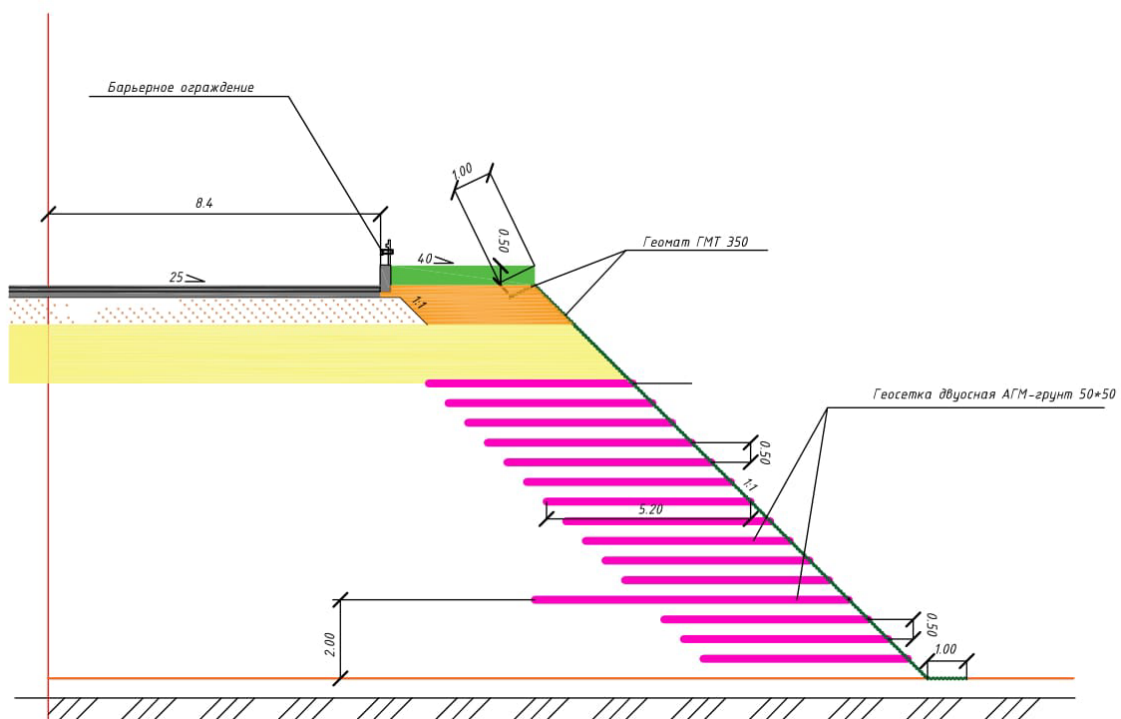


Рисунок 3 - Устройство двуслойной геосетки с размером ячеек 50*50 на насыпь земляного откоса

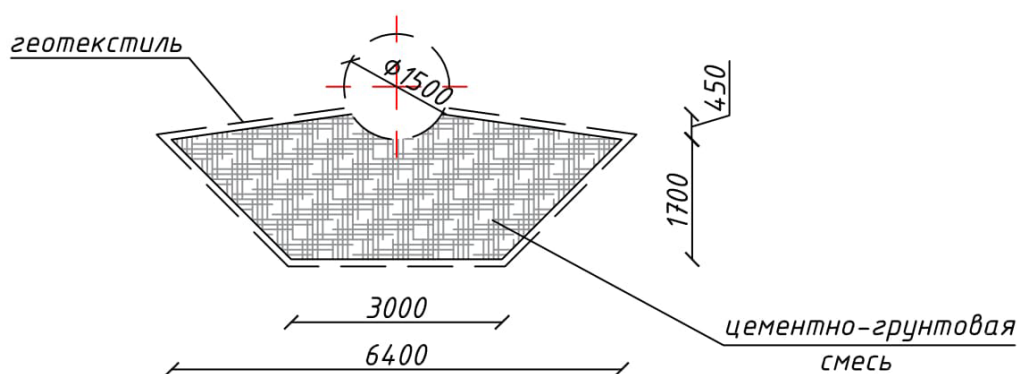


Рисунок 4. Пример использования геотекстильных материалов на участках с трубой

Наибольшим значением средней осадки обладает способ укрепления откосов с помощью растительного грунта. Оно составило 3,6 см. По этому показателю уже можно судить о назначении такого вида защиты откоса. Как правило, он применяется лишь в том случае, когда почва на каком-либо участке имеет положительные механические свойства в силу своего расположения на местности [14].

Укрепление производится следующим образом. По ранее подготовленной поверхности земляных откосов распределяют растительный грунт, снятый и сложенный в валы вдоль красных линий; его перемещают бульдозером к подошве насыпи или внешней бровке откоса [27].

После грунт распределяют любой планировочной машиной по насыпи. Его присыпная часть должна иметь высоту 6-7 см. Затем всю поверхность засеивают семенами многолетних трав (в нашем случае газон). Если необходимо произвести в сухую землю, то в этом случае после засева необходимо засеянный откос утрамбовать и в течение нескольких дней после этого обработанные участки поливать водой [18]. Данный способ наиболее энергоэффективен для установки данной конструкции, поскольку используется небольшое количество автоматизированного оборудования [30].

В тех местах откоса, где засев травы не удался (появились плешины) необходимо весной следующего года произвести подсев такой же травой. Предполагается, что корешки растений делают структуру используемого грунта более плотной и жесткой [21].

Детально изучив схему каждого из используемых укреплений, а также проведя эксперимент, мы пришли к выводу, что наиболее надежным способом защиты земляных откосов для нашего региона является использование габиона матрасно-тюфячного типа с размером ячеек 60*80 мм. В этом случае осадка подстилающего земляного полотна минимальна, что говорит о том, что этот метод должным образом снижает негативные эффекты влажности и в большей степени позволяет уменьшить степень разрушения автомобильной дороги.

Заключение

Ситуация с проектированием устойчивого земляного полотна остается актуальной проблемой дорожного строительства северо-западного региона.

С целью определения наиболее выгодного и надежного укрепления был проведен краткий анализ научно-технических статей, книг, патентов и научных разработок. В анализе участвовали как русскоязычные статьи, так и зарубежных авторов. Также проведен эксперимент, определяющий значения осадок при различных технологиях проектирования дорожного полотна на трассе «Скандинавия».

По результатам опытных данных было выявлено, что габион цинковый с размером ячеек 60*80 мм наиболее эффективен на участках где требуется организовать более мощное водоотведение, геосетка двуслойная АГМ-грунт 50*50 также, как и габион отлично показывает себя на участках с большим водоотведением, за исключением того, что он обычно используется для более жесткого типа грунта, который предварительно может быть подвержен процессу консолидации.

Растительный грунт с озеленением (газон) обладает наибольшим значением средней осадки, и он применяется лишь в том случае, когда почва на каком-либо участке имеет положительные механические свойства в силу своего расположения на местности.

Благодарности

Авторы выражают признательность научному консультанту Лазареву Юрию Георгиевичу за оказанную помощь при проведении данных исследований и написании настоящей статьи.

Литература / References

- [1]. Podolskiy V.P. Le V.Ch. Primeneniye sipmleks-metoda dlya optimizatsii znacheniy parametrov vliyayushchikh na ustoychivost otkosov zemlyanogo polotna // Nauchnyy zhurnal stroitelstva i arkhitektury. 2014. №1(33). S. 62-71.
- [2]. Fedorova V.S., Stepanova N.O., Lovtsov A.D. Primeneniya algoritma Lemke dlya otsenki ustoychivosti otkosa nasypi // Novyye idei novogo veka. 2011. S.144-149.
- [3]. Nikolashin Yu.M., Korchagin N.V. Ustoychivost otkosov zemlyanogo polotna iz otkhodov sukhoy magnitnoy separatsii zhelezistykh kvartsitov // Vestnik Krivozhorskogo natsionalnogo universiteta. 2013. №34(1). S. 260-263.
- [4]. Zolyavin A.S. Primeneniye metoda «Monolitnogo otseka» v raschetakh ustoychivosti otkosov zemlyanykh plotin // Trudy kongressa 16-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. 2014. S. 427-429.
- [5]. Ryabova O.V. Chan V.Z. Osnovnyye printsipy primeneniya traversov dlya inzhenernoy zashchity dorozhno-transportnykh sooruzheniy na poymennykh uchastkakh // Nauchnyy zhurnal stroitelstva i arkhitektury. 2013. №4(32) S. 100-106.
- [6]. Rasmeemasuang T., Chuenjai W., Rattanapitikon W. Wave run-up sandbag slopes. Maejo International Journal of Science and Technology. 2014. Pp. 48-57.
- [7]. Bai M., Du Y., Wang X., Qiu S., Tian G. In-situ study on the combined strengthening effects of intensive micropile groups and anchor-cable ground beam on subgrade slopes of existing roads. International Journal of Earth Sciences and Engineering. 2016. No. 9(3). Pp. 1038-1048.
- [8]. Dong J., Zhu Y., Ma W. Simplified seismic design method of frame supporting structure with prestressed anchors for slope stability. 2012. No. 25(5). Pp. 38-46.
- [9]. Lee S., Hencher S. Assessing the stability of a geologically complex slope where strong dykes locally act as reinforcement. Rock Mechanics and Rick Engineering. 2013. No. 46(6). Pp. 1339-1351.
- [10]. Shi, L., Cheng, Z.L., Zhang, X.G. The investigation and control of a typical landslide along ZaMo road of Tibet. 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. 2011. Pp. 3666-3669.
- [11]. Wenxue C., Shuwei T., Xiaosong W. Wave Erosion Characteristics of the No Vegetation Sandbag Structures. International-Association-for-Hydro-Environment-Engineering-and-Research. 2013. Pp. 2788-2794.
- [12]. Nemchinov M.V, Menshov L.S. Vliyaniye vibratsii ot avtomobilnogo transporta na mestnuyu ustoychivost zemlyanykh otkosov // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2005. №4(35) S. 24-26.
- [13]. Junxin L., Chunhe Y., Jianjun G. Stability Analysis of Road Embankment Slope Subjected to Rainfall Considering Runoff-Unsaturated Seepage and Unsaturated Fluid-Solid Coupling. International journal of Civil Engineering. 2017. Pp. 865-876.
- [14]. Bezukhov D.A., Shnayder V.A. Vliyaniye infiltratsionnykh protsessov na mestnuyu ustoychivost otkosov zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog // Arkhitektura, stroitelstvo, transportnyye materialy. 2015. S. 28-34.
- [15]. Gapeyev D.S. Vliyaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya na zapas ustoychivosti otkosov na primere kamennozemlyanoy plotiny // Nauka segodnya: fakty, tendentsii, prognozy. 2017. S. 22-24.
- [16]. Chernysh A.S. Vliyaniye dinamicheskoy nagruzki na prochnostnyye kharakteristiki glinistykh gruntov i ustoychivost zemlyanogo polotna // Vestnik Belgorodskogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2016. №6. S. 64-67.
- [17]. Davydov A.A. Raschet ustoychivosti otkosov zemlyanogo polotna pri proyektirovanii avtomobilnykh dorog s uchetoм ekspluatatsii bolshegruznykh avtomobiley // Vestnik KGUSTA. 2011. №1. S.6-9.
- [18]. Spasskaya K.A. Vopros ustoychivosti yestestvennykh sklonov i otkosov zemlyanogo polotna pri vybore varianta napravleniya trassy novoy zheleznoy dorogi // Proyektirovaniye razvitiya regionalnoy seti zheleznykh dorog. 2014. №2. S. 88-93.
- [19]. Lomakin V.V., Sergeyev S.V., Lychagin Ye.V., Reznichenko O.S. Algoritm i programmnoye obespecheniye rascheta ustoychivosti otkosov zemlyanykh sooruzheniy po kruglotsilindricheskim poverkhnostyam skolzheniya // Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki. 2013. №24(167). S. 169-177.
- [20]. Vasilyev Yu.P., Denisenko V.V., Lyashenko P.A., Lyubimova T.V. Opredeleniye ustoychivosti otkosov zemlyanykh plotin, beregovykh sklonov, vysokikh nasypey i glubokikh vyemok // Osnovy inzhenernoy geodezii, gruntovedeniya i mekhaniki gruntov. 2011.
- [21]. Vereykin Ye.V., Nasymbayev B.S. Voprosy ustoychivosti pri ukreplenii otkosov zemlyanogo polotna // Razvitiye dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitelnoy infrastruktury na osnove ratsionalnogo prirodopolzovaniya. 2011. S. 18-21.
- [22]. Kondrashova Ye.V. Algoritm rascheta ustoychivosti otkosov zemlyanogo polotna // Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii. 2010. №4. S. 163-167.
- [23]. Bogomolova O.A., Kachurin Ya.V., Kuzhel V.N., Yakimenko I.V. Raschet ustoychivosti otkosov zemlyanogo sooruzheniya s uchetoм ikh vzaimnogo vliyaniya // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2010. №18. S. 4-8.
- [24]. Statya iz Vikipedii: Klimat Sankt-Peterburga. [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Klimat_Sankt-Peterburga (data obrashcheniya: 01.12.2017).
- [25]. Makarova Yu.A., Manukovskiy A.Yu. Ispolzovaniye geosinteticheskikh materialov dlya zashchity otkosov zemlyanogo polotna lesovoznoy avtomobilnoy dorogi v usloviyakh podtopleniy // Lesn. zhurn. 2017. № 3. S. 114-122.
- [26]. O tekhnicheskoy regulirovaniy: SP 34.13330.2012. Avtomobilnyye dorogi // Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.05.02-85* (s izmeneniyem N1) – normativno-tekhnicheskyy material. – Moskva-2002
- [27]. O poryadke razrabotki i utverzhdeniya svodov pravil: SNiP 2.05.02-85 Avtomobilnyye dorogi –normativno tekhnicheskyy material. – Moskva – 1987

- [28]. Ustyan N.A. Geokonteynery v dorozhnom i gidrotekhnicheskom stroitelstve//Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. № 4. S.22-25
- [29]. Poleguyev R.A., Glebov N.S., Stolyarov O.N. Mekhanicheskiye povrezhdeniya geosinteticheskikh materialov pri ustanovke // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2017.№ 12. S. 97-112.
- [30]. Vatin N.I., Kolosova N.B., Berdyugin I.A. Issledovaniye metodik otsenki effektivnosti proizvodstva zemlyanykh rabot. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2013. № 7.S 64-70.

Контактная информация

- 1.* +79650879228; kirya1997g@mail.ru
Кирилл Владимирович Войченко, студент
2. +79819246673; dishadiana673@gmail.com
Диана Ришатовна Ибатуллина, студентка
3. +79817597195; greatflevretti@mail.ru
Михаил Павлович Загоскин, студент
4. +79520991772; greier@yandex.ru
Илья Владимирович Фильковский, студент

Contact information

- 1.* +79650879228; kirya1997g@mail.ru
Kirill Voichenko, student
2. +79819246673; dishadiana673@gmail.com
Diana Ibatullina, student
3. +79817597195; greatflevretti@mail.ru
Mikhail Zagoskin, student
4. +79520991772; greier@yandex.ru
Ilya Filkovsky, student

© Войченко К.В., Ибатуллина Д.Р., Загоскин М.П., Фильковский И.В., 2020