



Механические повреждения геосинтетических материалов при установке

Р.А. Полегуев ¹, Н.С. Глебов ^{2*}, О.Н. Столяров ³

¹⁻³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

doi: 10.18720/CUBS.63.5

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 06.06.2017

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

геосинтетические материалы;
повреждения при установке;
сохранение прочности;
понижающий коэффициент;
георешетки;

АННОТАЦИЯ

В настоящее время геосинтетические материалы находят новые области применения в строительстве. Однако одной из основных проблем, связанных с применением геосинтетических материалов, является их низкая устойчивость к механическим повреждениям во время установки. Данное обстоятельство находит свое отражение при определении долговременной прочности за счет введения дополнительного понижающего коэффициента. В данной работе рассмотрено изменение механических свойств различных видов геосинтетических материалов при установке в зависимости от типа грунта. Проведенный анализ позволил выработать рекомендуемые допустимые понижающие коэффициенты для различных видов геосинтетических материалов.

Содержание

1.	Введение	98
2.	Цели и задачи	98
3.	Методы	99
4.	Лабораторные испытания	99
5.	Полигонные испытания	99
6.	Результаты и обсуждения	100
7.	Заключение	104

Контактная информация:

- 1 +79992134916, 1111990@list.ru (Полегуев Роман Александрович, студент)
 2* +79650050843, arpolimp@mail.ru (Глебов Никита Сергеевич, студент)
 3 +78125526303, oleg.stolyarov@rambler.ru (Столяров Олег Николаевич, к. т. н., доц.)

1. Введение

На сегодняшний день актуальность разработки и применения новых видов строительных материалов обусловлена быстрорастущими потребностями строительной отрасли. Одним из таких быстрорастущих сегментов отрасли является производство геосинтетических материалов [1-3]. Следует отметить, что их использование не ограничивается только дорожным строительством, а находит принципиально новые области применения [4-7]. Как результат, в последние два десятилетия произошел не только количественный, но и качественный рост типов структур геосинтетических материалов, обладающих разнообразными свойствами. При строительстве передовых и уникальных сооружений уже трудно обойтись без применения геосинтетических материалов [8-12]. Их использование коренным образом меняет характер геотехнических работ, а также сводит к минимуму негативное воздействие на окружающую среду.

К основным преимуществам геосинтетических материалов следует отнести высокие механические характеристики, универсальность, долговечность и экономичность, так как уменьшаются объемы земляных работ [12-16].

Однако геосинтетические материалы обладают и недостатками [17-19]. Например, из-за чувствительности к механическим, физико-химическим и биологическим факторам снижается расчетная прочность геосинтетических материалов [20-27]. Для учета этих факторов вводят понижающие коэффициенты при определении долговременной прочности [18, 19]:

$$T = \frac{T_{\text{нор}}}{K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_i \cdot \gamma} \quad (1)$$

где $T_{\text{нор}}$ - кратковременная прочность при испытании на растяжение, кН/м; γ – коэффициент запаса; K_1, \dots, K_i - понижающие коэффициенты, учитывающие влияние различных факторов.

В данной работе рассматривается понижающий коэффициент механических повреждений при установке, который определяется по следующей формуле [18-19]:

$$K_i = \frac{T_0}{T_k} \quad (2)$$

где T_0 – прочность при растяжении исходного материала, кН/м; T_k – прочность при растяжении после механических повреждений, кН/м.

Следует отметить, что прочность при растяжении геосинтетических материалов в отечественных и зарубежных нормативных документах выражается как отношение прочности (кН) к погонной ширине образца (м). Это связано со сложностью определения классических инженерных напряжений (МПа) из-за особенностей строения геосинтетических материалов, включающих полотна, решетки, сетки и т.п.

Снижение уровня механических повреждений геосинтетических материалов при установке может осуществляться различными способами. Первым способом является использование экструдированных пластмассовых георешеток, более устойчивых к повреждениям по сравнению с геотекстильными полотнами. Но следует отметить, что недостаток экструдированных георешеток - плохое сопротивление к длительным механическим воздействиям. Также для достижения сопоставимой прочности с геотекстильными полотнами из высокопрочных ориентированных нитей необходимо увеличить эффективное сечение ребер георешетки, что приводит к увеличению её поверхностной плотности. Вторым способом повышения сопротивления к механическим повреждениям является дополнительная обработка геосинтетических материалов полимером (пропиткой). Пропитка обеспечивает геометрическую стабильность размеров полотен и решеток, а также повышает сопротивление механическим повреждениям, т.к. образующийся наружный слой предохраняет комплексные нити и ровинги. В то же время пропитка увеличивает материалоемкость готовой структуры полотна, что приводит как к удорожанию, так и к увеличению расходов, связанных с транспортировкой и установкой геосинтетических материалов.

2. Цели и задачи

Цель данной работы состояла в анализе и определении зависимости потери прочностных характеристик от типа структуры геосинтетического материала, вида и размера частиц заполняющих строительных материалов.

Задачи данной работы включали сбор результатов в литературных источниках по изменениям прочностных характеристик в зависимости от повреждений при установке, систематизацию результатов в зависимости от типа геосинтетического материала, вида и размера частиц заполнителя, а также определение характера зависимости потери прочности от указанных параметров.

3. Методы

Определение понижающего коэффициента может быть проведено либо при лабораторных испытаниях [27-30], либо непосредственно на строительной площадке с использованием строительных материалов. На сегодняшний день большинство полигонных испытаний уже также являются нормативными [31-36].

4. Лабораторные испытания

Лабораторные методы контроля геосинтетических материалов нашли востребованность вследствие их простоты и относительной дешевизны. Наряду с типовыми испытаниями геосинтетических материалов, такими как определение механических характеристик при растяжении, продавливании и др., был разработан метод для определения стойкости геосинтетических материалов к циклическим нагрузкам [27, 28]. Сущность такого испытания состоит в создании в лаборатории условий, сопоставимых с теми, при которых геосинтетический материал подвергается истиранию при реальных условиях установки. Основным недостатком такого испытания является сложность воспроизведения реальных условий строительной площадки. Причина может заключаться в несопоставимом размере частиц дискретного заполнителя, используемого при лабораторных испытаниях. Так в [27] используется спекшийся оксид алюминия с размером частиц от 5 до 10 мм. В [28] используется гранитный щебень по ГОСТ 8267 с аналогичным размером частиц. Такой заполнитель был призван обеспечить сопоставимые результаты с полигонными повреждениями. Однако, как было показано в работах [35, 36], получаемые результаты являются сильно заниженными (более чем в 2 раза) по сравнению с полигонными испытаниями. Как результат, данные лабораторные методы не нашли широкого распространения при анализе устойчивости геосинтетических материалов к циклическим нагрузкам.

5. Полигонные испытания

Полигонные испытания, по сравнению с лабораторными, обеспечивают оптимальную воспроизводимость результатов, поскольку они проводятся в условиях, непосредственно приближенных к строительной площадке. Основным отличием данных методов являются параметры испытания геосинтетических материалов на устойчивость к механическим повреждениям. Причем наибольшее влияние на сохранение прочности геосинтетического материала оказывает размер частиц заполняющего строительного материала. В разных методах рекомендуются или устанавливаются различные фракции такого заполнителя. Так, например, в [33] рекомендуется использовать гравий с размером $d_{50} > 20$ мм и два вида песка $d_{50} > 1.0$, $d_{50} > 0.4$ мм. В [34] устанавливаются два различных типа материала: песок средней крупности с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут и щебень фракции 40-70 мм. Также допускается использовать другие заполнители по согласованию с заказчиком.

Анализируя имеющиеся в литературе данные, следует отметить, что подобные испытания проводятся порой одновременно при нескольких фракциях заполняющего строительного материала. Кроме того, многие ученые исследовали влияние и других факторов: глубины заложения, степени уплотнения и др. Проведенные работы, главным образом, ставили цель сопоставительного анализа влияния повреждений на механические характеристики геосинтетических материалов, а именно на прочность при растяжении. Так, в [37-41] были проанализированы изменения прочности при растяжении 55 различных видов геосинтетических материалов, проведенные при 12 различных испытаниях на повреждения при установке. Основное их внимание было уделено количественной оценке сохранения прочности при растяжении и модуля упругости. Данные характеристики были рассчитаны для семи различных групп геосинтетических материалов. В [42-44] проведены полномасштабные полигонные испытания на повреждения при установке для 38 различных видов геополотен и георешеток. По полученным данным было определено влияние типа геосинтетического материала, размера заполнителя и глубины заложения на расчетный понижающий коэффициент, учитывающий изменение прочности в результате повреждений при установке. В работах [45, 46] были проведены исследования влияния размера частиц заполнителя на повреждения при установке геосинтетических материалов. В [47-50] проанализировали результаты испытаний на повреждение при установке на 103 различных геосинтетических материалах из 20 различных источников. Стоит подчеркнуть, что наибольший интерес

представляет собой определение различий в степени повреждаемости между различными группами геосинтетических материалов. Например, в [51-55] сравнивались повреждения при установке различных видов геотекстильных полотен и георешеток. Полученные данные показали, что потеря прочности на растяжение при установке у геотекстильных материалов больше, чем у георешеток. Данный факт легко объясняется большей податливостью (нестабильностью) структуры текстильных полотен, в отличие от георешеток. В [35] проведен сопоставительный анализ 20 различных видов геосинтетических материалов, включая геополотна, георешетки, геомембраны и геоячейки. Проведено сравнение потери прочности при повреждениях в условиях лаборатории и при испытании на полигоне. Показано, что потеря прочности в лабораторных условиях оказывается заниженной почти в 2 раза для подавляющего большинства исследованных образцов. Аналогичные исследования были выполнены в работе [56]. В [57-59, 60-62] сравнили падение прочности при установке тканого и нетканого геотекстиля. Результаты показали, что нетканые полотна теряют больше прочности по сравнению с ткаными полотнами вследствие особенностей их строения. В нетканых полотнах имеется хаотичное расположение волокон, скрепленных определенным механическим или физико-химическим способом. Данный факт обеспечивает более легкое проникновение частиц грунта в структуру материала, вызывая повреждения. В работах [63-72] наряду с испытаниями на повреждения при установке геосинтетических материалов также была проанализирована их взаимосвязь с ползучестью.

Экструдированные решетки, которые хорошо противостоят механическим повреждениям при установке, оказываются более уязвимыми во время испытаний под действием постоянно приложенной нагрузки. Причиной того является меньшая степень осевой ориентации при изготовлении по сравнению с высокоориентированными нитями, используемыми в полотнах. Так же в [73, 74] было показано, что тканые георешетки более уязвимы к механическим повреждениям, чем экструдированные, так как нити более уязвимы при контакте с острыми краями заполняющего гранулированного материала. В работах [75-90] были проанализированы различные аспекты, касающиеся оценки механических повреждений геосинтетических материалов. Одним из путей повышения устойчивости геосинтетических материалов к механическим повреждениям может являться их дополнительная пропитка полимером. Так, например, покрытие полиэтиленовых и полиэфирных георешеток поливинилхлоридной смолой существенно повышает устойчивость к механическим повреждениям.

6. Результаты и обсуждения

В общем случае, исследуемые на повреждаемость геосинтетические материалы можно разделить на шесть основных групп, которые включают в себя:

- геотекстиль тканый.
- геотекстиль нетканый.
- георешетки тканые.
- георешетки вязаные.
- георешетки экструдированные.
- геополосы скрепленные.

Обобщенные данные по каждой группе представлены на рисунках 1а-1е. Зависимости сохранения прочности и соответствующего понижающего коэффициента построены от максимального размера частиц грунта, который использовался для засыпки. Для удобства данные зависимости представлены в полулогарифмической шкале. В целом, данные зависимости характеризуются снижением величины сохранения прочности при увеличении размера частиц грунта для всех типов исследуемых материалов.

На рисунках 1а и 1б представлены характерные зависимости влияния размера частиц материала засыпки на сохранение прочности геотекстильных материалов. Тканые и нетканые полотна были разбиты на две группы в зависимости от поверхностной плотности: 200-300 г/м² и 300-600 г/м². Материалоемкость геосинтетических материалов определяется их поверхностной плотностью, т.е. массой 1 м² образца в соответствии с ГОСТ 50277 [91]. Как видно из полученных зависимостей, с увеличением размера частиц засыпки сохранение прочности значительно снижается. В большинстве случаев это сказывается на характеристиках нетканых полотен, которые из-за особенностей строения более уязвимы к механическим повреждениям. В то же время при увеличении поверхностной плотности полотен как тканых, так и нетканых, сохранение прочности несколько возрастает. Итак, сохранение прочности для тканых полотен наблюдается на уровне 80-90% от исходной прочности. Для нетканых полотен этот показатель более чувствителен, поскольку потеря прочности при размере частиц в несколько десятков миллиметров достигает 50% и более. Однако небольшой эффект в росте сохраненной прочности наблюдается при увеличении поверхностной плотности, а как следствие и толщины, нетканого полотна.

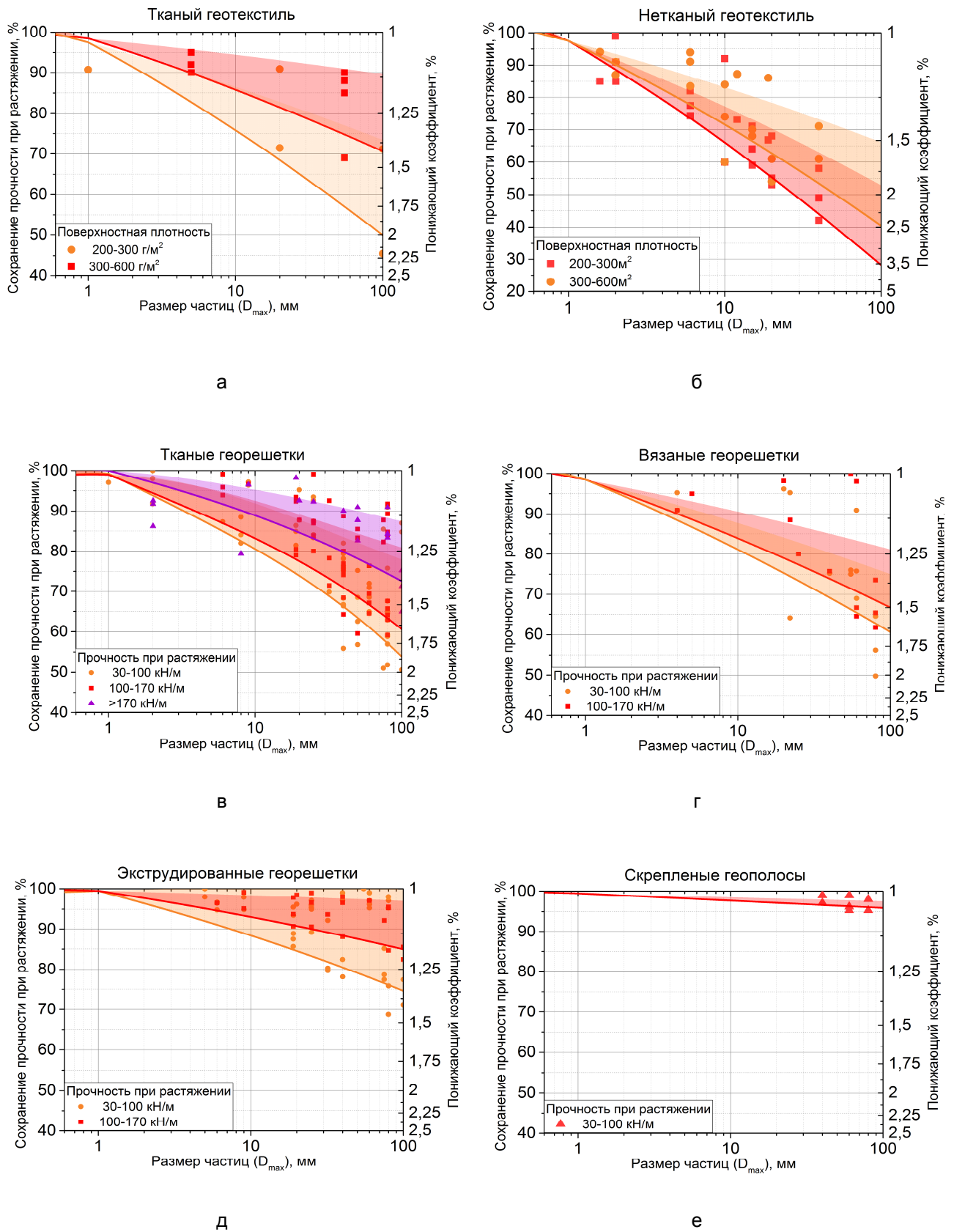


Рисунок 1. Влияние размера частиц заполнителя на сохранение прочности и понижающий коэффициент геосинтетического материала

На рисунках 1в и 1г представлены характерные зависимости влияния размера частиц материала засыпки на сохранение прочности георешеток, изготовленных по текстильной технологии. Следует отметить, что в противовес экструдированным пластмассовым георешеткам, тканые и вязаные георешетки обладают стабильностью размеров за счет нанесения дополнительного полимерного покрытия. Такое покрытие не только придает стабильность геометрии формы ячеек георешеток, но также обеспечивает лучшую устойчивость к механическим повреждениям за счет соединения отдельных филаментов, составляющих комплексные нити в единое целое. Тканые и вязаные георешетки имеют широкую номенклатуру выпускаемых типов, которые подразделяются как по поверхностной плотности, так и по размеру внутренних ячеек. Провести такую классификацию достаточно сложно. Поэтому наиболее целесообразно разделить такие георешетки на три группы в зависимости от максимальной прочности при растяжении. Первая группа включает в себя наиболее типовые распространённые георешетки для армирования прочностью 30-100 кН/м, вторая группа охватывает георешетки 100-170 кН/м, и третья группа включает георешетки для особых применений, прочность которых свыше 170 кН/м. Соответственно, рост прочностных характеристик достигается за счет большей материалоемкости георешеток. Рассматривая полученные зависимости, нетрудно увидеть, что с ростом прочности при растяжении существенно снижается потеря прочности георешеток при механических повреждениях. Причем максимальная потеря прочности для георешеток первой группы составляет почти два раза от исходной и наблюдается при особо крупном размере частиц заполнителя (до 100 мм). При аналогичном размере частиц грунта, но с повышением прочности георешеток, наблюдается существенное снижение потери прочности. Для особо прочных георешеток (более 170 кН/м) наблюдается сохранение прочности на уровне 85-90% от исходной прочности при растяжении. Вязаные георешетки (рисунок 1г) представляют собой не такой многочисленный класс, как тканые георешетки. В то же время можно сказать, что они демонстрируют схожие зависимости с ткаными георешетками. Значения понижающего коэффициента лежат в одинаковом диапазоне.

Как было показано выше, наибольшей устойчивостью к механическим повреждениям при установке обладают экструдированные пластмассовые георешетки. К этому же типу из-за схожести строения можно также отнести и георешетки из скреплённых (как правило, сваркой термопластичных полимеров) полос. На рисунках 1д и 1е представлены аналогичные вышеизложенным зависимости таких структур. Как видно из полученных диаграмм, данные решетки, бесспорно, обладают наилучшей устойчивостью к механическим повреждениям среди всех типов рассматриваемых геосинтетических материалов. Даже при максимальном размере частиц грунта потеря прочности составляет не более 20-25% для решеток с прочностью 30-100 кН/м, а для георешеток с прочностью 100-170 кН/м потеря прочности составляет не более 10-15%. Еще лучшей устойчивостью к повреждениям гранулированными материалами обладают скрепленные геополосы, сохранение прочности в которых даже при максимальных воздействиях составляет практически 100%.

Обобщая вышеизложенный материал, можно построить универсальные номограммы, при помощи которых можно определять соответствующие понижающие коэффициенты в зависимости от типа геосинтетического материала и размера частиц заполнителя. Построенные номограммы приведены на рисунках 2а-2г. Каждая кривая представляет собой нижний допустимый предел с вероятностью 95%. Данные номограммы целесообразно разбить, во-первых, в зависимости от типа геосинтетического материала: геотекстиль (тканый и нетканый) и георешетки (тканые, вязаные и экструдированные) и, во-вторых, в зависимости от поверхностной плотности для геополотен или прочности при растяжении для георешеток. Получаемые при помощи таких номограмм понижающие коэффициенты могут рассматриваться как универсальные и использоваться в качестве, так называемых, коэффициентов по умолчанию. Данные коэффициенты представляют собой максимально возможные воздействия на материал, гарантированно не допуская превышения допустимых значений по прочностным характеристикам геосинтетического материала.

На практике подобные коэффициенты по умолчанию существуют в различных нормативных документах. Например, в широко распространенном руководстве по применению геосинтетических материалов EBGEО [92] для мелкого заполнителя 1.5, для крупного заполнителя 2.0 вне зависимости от типа геосинтетических материалов. В руководствах GT7 [31] и GG4 [93] понижающий коэффициент выбирается в зависимости от области применения и вне зависимости от фракций материала. Так для насыпей, откосов, подпорных стенок принимается значение 1.4, а для несущих применений – 1.5.

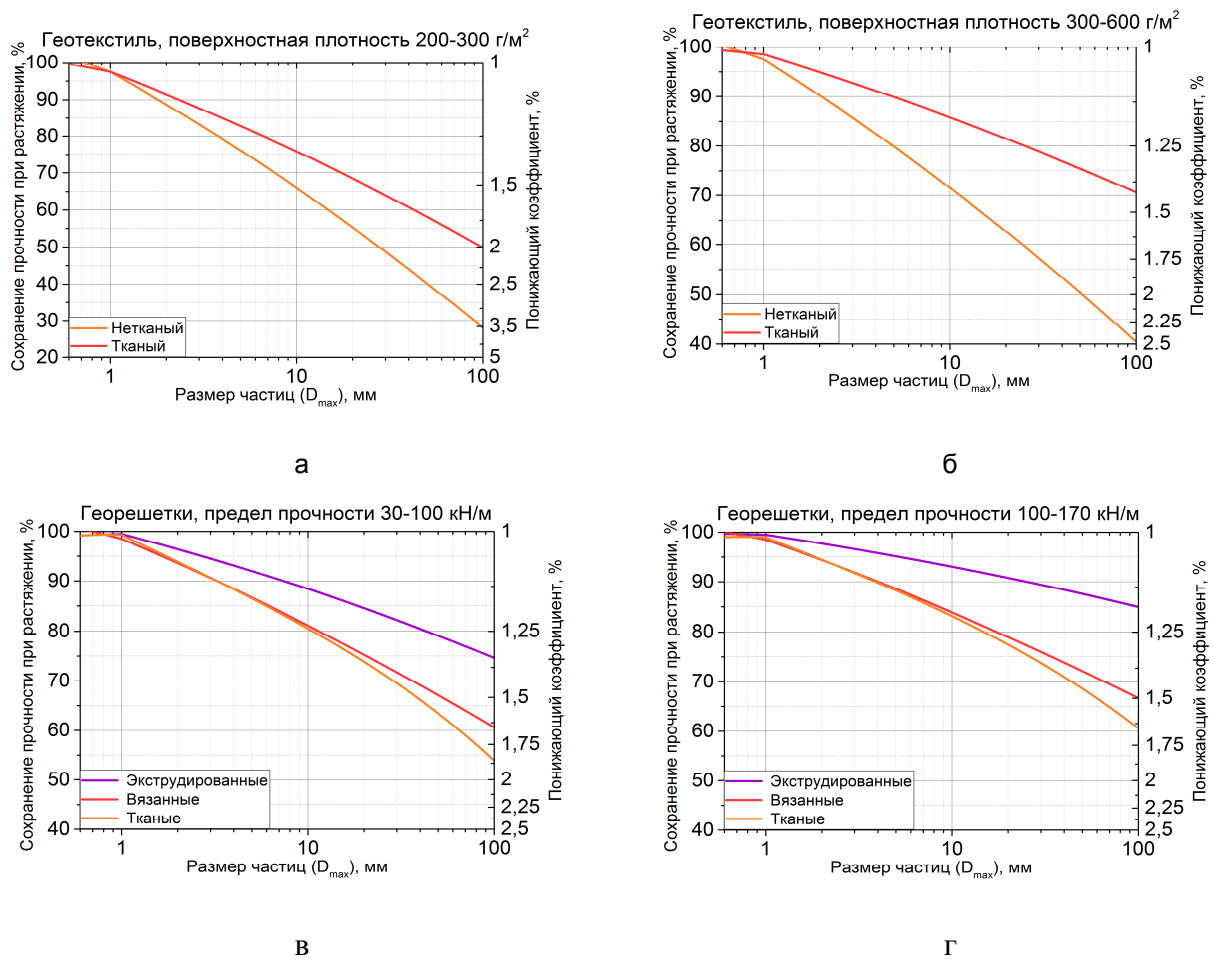


Рисунок 2. Универсальные номограммы для определения понижающего коэффициента геосинтетического материала в зависимости от размера частиц заполнителя и типа материала

Сравнивая полученные данные с коэффициентами по умолчанию, были построены общие графики для геотекстильных полотен и георешеток (Рисунок 3). По графикам видно, что не всегда рационально использовать для расчета долговременной прочности георешеток и геотекстиля коэффициенты от EBGEO, GG4 и GT7, до фракции заполнителя в 30 мм. Для мелкой фракции рациональней использовать коэффициенты, полученные в ходе проведенного анализа, для более крупной фракции – коэффициенты по умолчанию.

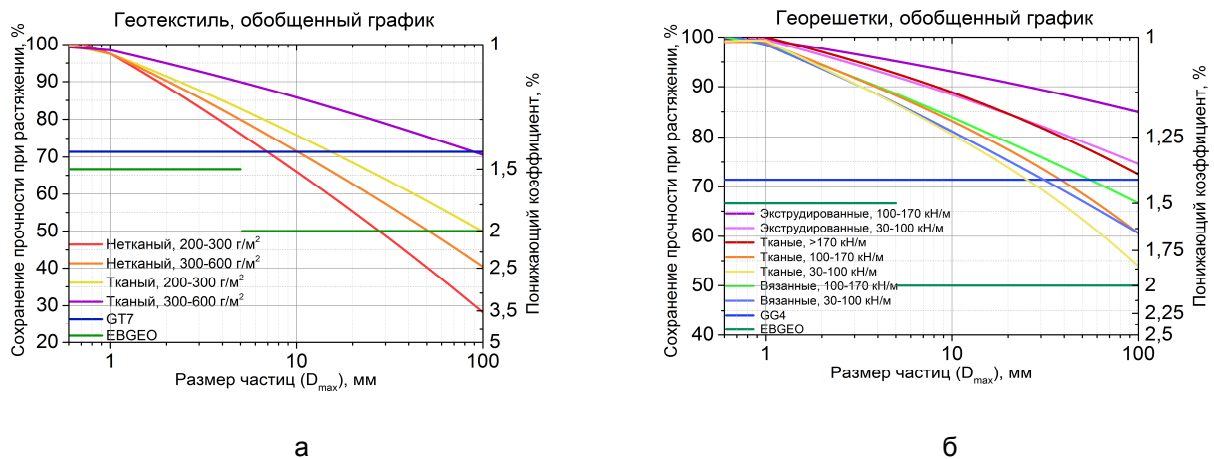


Рисунок 3. Обобщенные графики для сравнения с нормативными коэффициентами EBGEO, GT7, GG4.

7. Заключение

В данной работе проведен сравнительный анализ методов испытаний геосинтетических материалов на устойчивость к механическим повреждениям при установке в зависимости от гранулометрического состава заполнителя. По проанализированным данным были построены зависимости, позволяющие рассчитать коэффициент механических повреждений на определенной фракции заполнителя. Полученные данные были сведены в общие графики – номограммы, чтобы сравнить коэффициенты механических повреждений разных типов геотекстильных полотен и георешеток. Полученные зависимости были сравнены с международными нормативными данными полигонных испытаний геосинтетических материалов. Разработаны рекомендации по учету механических повреждений при применении геосинтетических материалов.

Литература

- [1]. Гаев Д.А., Гавриш В.В. Современные геосинтетические материалы и области их применения в строительстве // Труды «Будущее науки» 2013. с. 131-139.
- [2]. Дробышинец С.Я. Геотекстиль в дорожном строительстве, пути использования // Наукові нотатки. 2015. № 46. с. 154-160.
- [3]. Дмитриев И.И. Геосинтетические материалы в дорожном строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10. с. 35-58.
- [4]. Терлеева О.В., Ушакова И.Г. Геосинтетики на страже экологии. // Приоритетные направления развития науки и технологий 2016. с. 14-16.
- [5]. Панкова Т.А., Хазова А.Г. Применение геосинтетических материалов в строительстве // Современная наука: теоретический и практический взгляд 2015. с. 263-265.
- [6]. Кисляков К.А., Кисляков М.А., Симаков Н.К. Классификация геосинтетических материалов и области их применения в дорожном строительстве // Выставка инноваций 2016. с. 53-62.
- [7]. Гойс Т.О., Матрохин А.Ю. Совершенствование системы классификации геосинтетических материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2014. № 6 (354). с. 37-41.
- [8]. Филатова А.В. и др. Изучение процессов и работ при реконструкции участка автомобильной дороги М5 Урал в Самарской области. Тамбов, 2017. с. 38-54
- [9]. Минчукова М.Е. Использование геосинтетических материалов при строительстве земляных сооружений различного назначения // Наука и техника. 2006. № 3. с. 25-29.
- [10]. Гладштейн О.И. Особенности применения геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве // Гидротехника. 2009. № 1. с. 69-70.
- [11]. Гладштейн О.И. Применение геомембран для устройства противодиффузионных экранов объектов и сооружений хранения нефти и нефтепродуктов // Территория нефтегаз. 2010. № 4. с. 50-51.
- [12]. Долгопятов И.В., Малушко А.М. Усиление основания геосинтетиками // Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития. 2015. с. 144-147.
- [13]. Овчаров А.С., Золотозубов Д.Г. Определения прочностных характеристик геосинтетических материалов // Вестник пермского национального исследовательского Политехнического университета. Строительство и архитектура. 2011. № 1. с. 54-58.
- [14]. Золотозубов Д.Г., Золотозубова О.А. Исследование влияния прокола на сопротивление разрыву геосинтетических материалов // Вестник пермского национального исследовательского Политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 1. с. 80-90.
- [15]. Золотозубов Д.Г., Золотозубова О.А. Методы определения характеристик сопротивления механическим воздействиям геосинтетических материалов // Вестник пермского национального исследовательского Политехнического университета. Строительство и Архитектура. 2013. № 1. с. 98-103.
- [16]. Овчаров А.С., Золотозубов Д.Г. Испытания геосинтетических материалов по прочности на разрыв для оптимального проектирования армированных оснований // Вестник пермского национального исследовательского Политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2012. № 2. с. 73-81.
- [17]. Bathurst R., Huang, B., Allen, T. (2011). Analysis of installation damage tests for LRFD calibration of reinforced soil structures. Geotextiles Geomembranes. 2011. No. 29 (3). pp. 323–334.
- [18]. Koerner R. (2012). Designing with geosynthetics: Sixth edition. Xlibris corp. 2012. p. 818.
- [19]. Shukla S.K. (2011). Handbook of Geosynthetic engineering: Second edition. ICE publishing. 2011. pp. 424.
- [20]. S.R. Allen. (2016). Geotextile durability. In book Geotextiles. 2016, pp. 177-215.

- [21]. J.E. Sprague. (2016). Geosynthetics in erosion and sediment control. In: R. Coerner (ed) Geotextiles. Cambridge: Elsevier. 2016. pp. 531-562.
- [22]. Mohammad Babaei. (2017). Laboratory and field investigation of the effect of geogrid-reinforced ballast on railway track lateral resistance. Geotextiles and Geomembranes. 2017. No. 45 (2). pp. 23-33.
- [23]. Amy Rentz. (2016). Field and laboratory observations of down-slope bentonite migration in exposed composite liners. Geotextiles and geomembranes. 2016. No. 44 (5). pp. 686-706.
- [24]. Maria de Lurdes Lopes. (2013). Effects of the loading rate and cyclic loading on the strength and deformation properties of a geosynthetic. Construction and Building Materials. 2013. No. 49. pp. 758-765.
- [25]. Cho S. D. (2012). Stabilization of soil slope using geosynthetic mulching mat. Geotextiles and Geomembranes. 2002. No. 20 (2). pp. 135-146
- [26]. Yung-Shan Hong. (2014). A simplified approach for evaluating the bearing performance of encased granular columns. Geotextiles and Geomembranes. 2014. No. 42 (4). pp. 339-347.
- [27]. ISO 10722:2007. Geosynthetics - index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading – damage caused by granular material.
- [28]. ГОСТ Р 56336-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические. Метод определения стойкости к циклическим нагрузкам.
- [29]. G.P. Raymond. (1999). Laboratory survivability of nonwoven geotextiles on open-graded crushed aggregate. Geosynthetics International. 1999. No. 2. pp. 93-117.
- [30]. Yung-Shan Hong. (2009). Laboratory tests on geosynthetic-encapsulated sand columns. Geotextiles and Geomembranes. 2009. No. 27 (2). pp. 107-120.
- [31]. GT7 Standard practice for determination of the long-term design strength of geotextiles, GRI standard practice. Geosynthetic research institute. 2013.
- [32]. ISO 13437:1998. Geotextiles and geotextile-related products - method for installing and extracting samples in soil, and testing specimens in laboratory.
- [33]. ASTM d5818, 2000. Obtaining samples of geosynthetics from a test section for assessment of installation damage. American society for testing and materials, west Conshohocken, PA, USA.
- [34]. ОДМ 218.2.047-2014. Методика оценки долговечности геосинтетических материалов, используемых в дорожном строительстве.
- [35]. Stolyarov O., Baranov A., Deviatilov A. (2014). A comparative study of the structure and the installation damage of geosynthetics. 10th International conference on geosynthetics. Berlin. 2014.
- [36]. C.C. Huang. (2006). Laboratory simulation of installation damage of a geogrid. Geosynthetics International. 2006. No. 20 (2). pp. 120–132.
- [37]. Allen T.M. (1989). Strength losses occurring due to installation damage for several geosynthetics (sr-90 rainier avenue eastbound preload wall). Olympia, Washington, USA: Washington state department of transportation. 1989. p. 81.
- [38]. Allen T.M. (1989). Strength losses occurring due to installation damage for several geosynthetics (sr-504 elk rock wall). Olympia, Washington, USA: Washington state department of transportation. 1989. p. 23.
- [39]. Allen T.M., Bathurst, R.J. (1994). Characterization of geosynthetic load-strain behavior after installation damage. Geosynthetics International. 1994. No. 1. pp. 181-199.
- [40]. Allen T.M., Bathurst, R.J. (1996). Investigation of the combined allowable strength reduction factor for geosynthetic creep and installation damage. Geosynthetics International. 1996. No. 3. pp. 407-439.
- [41]. Allen T.M., Bathurst, R.J. (2006). Design and performance of an 11-m high block-faced geogrid wall. Proceedings of the 8th International conference on geosynthetics. Yokohama, Japan. 2006. pp. 953-956.
- [42]. Hufenus, R., Rügger, R., Flum, D., Sterba, I.J. (2005). Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. Geotextiles and Geomembranes. 2005. No. 23. pp. 401-424.
- [43]. Hufenus R., Schrade U. (2006)., An optimized method to measure the hydraulic conductivity of geosynthetics under load. Geotextiles and Geomembranes. 2006. No. 24 (4). pp. 243-253.
- [44]. Hufenus R. (2006). Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade, Geotextiles and Geomembranes. 2006. No. 24 (1). pp. 21-37.
- [45]. McCartney J. (2013). Unsaturated geotechnics applied to geoenvironmental engineering problems involving geosynthetics. Engineering Geology. 2013. No. 165 (24). pp. 143-153.
- [46]. Lim S.Y., McCartney, J.S. (2013). Evaluation of effect of backfill particle size on installation damage reduction factors for geogrids. Geosynthetics International. 2013. No. 20 (2). pp. 62–72.

- [47]. Richard J. Bathurst. (2015). Reliability analysis of geogrid installation damage test data in japan. *Soils and foundations*. 2015. No. 55 (2). pp. 393-403.
- [48]. Richard J. Bathurst. (2004). Lateral and axial deformation of PP, HDPE and PET geogrids under tensile load. *Geotextiles and Geomembranes*. 2004. No. 22 (4). pp. 205-222.
- [49]. Richard J. Bathurst. (2014). Reliability analysis of geogrid creep data in japan. *Soils and Foundations*. 2014. No. 54 (4). pp. 608-620.
- [50]. Richard J. Bathurst. (2012). Reliability analysis of soil-geogrid pullout models in japan. *Soils and Foundations*. 2012. No. 52 (4). pp. 620-633.
- [51]. Huang, B., Zhao, Y., Li, M. (2008). Investigation of installation damage on warp knit type geogrid using field tests. *Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering*. 2008. No. 30. pp. 284–287.
- [52]. Huang, Wang, Z.-H. (2007). Installation damage of geogrids: Influence of load intensity. *Geosynthetics International*. No. 14 (2). pp. 65–75.
- [53]. Huang. (2015). Experimental and numerical study of geosynthetic reinforced soil over a channel. *Geotextiles and Geomembranes*. 2015. No. 43 (5). pp. 382-392.
- [54]. Xiang Shu. Huang. (2015). Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular pavement base courses using loaded wheel tester. *Geotextiles and Geomembranes*. 2015. No. 43 (5). pp. 462-469.
- [55]. W. Huang. (2016). Geotextile tubes for dewatering and decontamination of fine-grained soils. In: R. Coerner (ed) *Geotextiles*. Cambridge: Elsevier. 2016. pp. 483-494.
- [56]. .Watn A. (2002). Geosynthetic damage – from laboratory to field. *Proceedings of the 7th International conference on Geosynthetics*. 2002. pp. 1203–1226.
- [57]. Zornberg J.G. (2009). Installation and ultraviolet exposure damage of geotextiles. *Fourth European Geosynthetics Conference*. 2009. p. 226.
- [58]. Natália de Souza Correia. (2011). Effect of bituminous impregnation on nonwoven geotextiles tensile and permeability properties. *Geotextiles and Geomembranes*. 2011. No. 29 (2). pp. 92-101.
- [59]. Carina Maia Lins Cost. (2016). Centrifuge evaluation of the time-dependent behavior of geotextile-reinforced soil walls. *Geotextiles and Geomembranes*. 2016. No. 44 (2). pp. 188-200.
- [60]. Carlos J.R. (2015). Effect of soil grain size distribution on mechanical damage of nonwoven geotextiles under repeated loading. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. 2015. No. (1). pp. 1-9.
- [61]. M. Pinho-Lopes. (2015). Synergisms between laboratory mechanical and abrasion damage on mechanical and hydraulic properties of geosynthetics. *Transportation Geotechnics*. 2015. No. 4. pp. 50-63.
- [62]. Maria de Lurdes Lopes. (2014). Some synergisms in the laboratory degradation of a polypropylene geotextile. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 73. pp. 586-591.
- [63]. Han Yong Jeon. (2006). Evaluation of combination effects of installation damage and creep behavior on long-term design strength of geogrids. *Polymer Testing*. 2006. No. 25 (6). pp. 819-828.
- [64]. Han Yong Jeon. (2006). Evaluation of the long-term performance of geosynthetic reinforcements from their reduction factors. *Polymer Testing*. 2006. No. 25 (3). pp. 289-295.
- [65]. Han Yong Jeon. (2002). Assessment of long-term performances of polyester geogrids by accelerated creep test. *Polymer Testing*. 2002. No. 21 (5). pp. 489-495.
- [66]. Kaliakin V.N., Dechasakulsom M. (2002). Development of a general time-dependent model for geogrids. *Geosynthetics International*. 2002. No. 9 (4). pp. 319-342.
- [67]. Han Yong Jeon. (2014). Reduction factor analysis of geogrids to consider affecting parameters during service periods. *10th International conference on geosynthetics*. Berlin. 2014. pp. 1856-1861.
- [68]. M. Pinho-Lopes. (2002). Experimental analysis of the combined effect of installation damage and creep of geosynthetics. *Geosynthetics*. 2002. pp. 1539–1544.
- [69]. Zou C., Wang Y., Lin J., Chen Y. (2002). Creep behaviors and constitutive model for high density polyethylene geogrid and its application to reinforced soil retaining wall on soft soil foundation. *Construction and Building Materials*. 2002. No. 114. pp. 763-771.
- [70]. M.L. Lopes. (1994). Modelling performance of a sloped reinforced soil wall using creep function. *Geotextiles and Geomembranes*. 1994. No. 13 (3). pp. 181-197.
- [71]. J.H. Greenwood. (2002). The effect of installation damage on the long-term design strength of a reinforcing geosynthetic. *Geosynthetics International*. 2002. No. 9 (3). pp. 247–258.

- [72]. De Mello. (2015). Influence of soil confinement on the creep behavior of geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*. 2015. No. 43 (4). pp. 351-358.
- [73]. Cancelli P. (2000). Geogrid compaction damage resistance. *Proceedings of the 2nd European Geosynthetics Conference*. Bologna, Italy. 2000. pp. 883–887.
- [74]. Troost G. H. (1990). Influence of weaving structure and coating on the degree of mechanical damage of reinforcing mats and woven geogrids, caused by different fills, during installation. *Proceedings of the 4th international conference on geotextiles, geomembranes and related products*. The Hague, the Netherlands. 1990. No. 2, pp. 609–614.
- [75]. McGown A., Kupec J., Heerten G., Von Maubeuge K. (2005). Testing biaxial geogrids for specification and design purposes. *Geotechnical Special Publication*. 2005. No. 130. pp. 4045-4055.
- [76]. Collin G. J. (1997). *Design manual for segmental retaining walls*. 2nd edition. NCMA. Herndon. USA. 1997.
- [77]. Yoo H., Jeon H.-Y., Chan Y.-C. (2010). Evaluation of engineering properties of geogrids for soil retaining walls. *Textile Research Journal*. 2010. No. 80 (2). pp. 184-192.
- [78]. Cho S. D. (2001). Evaluation of installation damage of trigrid. Report 2001-046. Korean institute of construction technology. Seoul, South Korea. 2001.
- [79]. Ho S. D. (2001). Evaluation of installation damage of HDPE geogrids. Report 2001-045. Korean institute of construction technology. Seoul, South Korea. 2001.
- [80]. Gerald Raymond. (2003). The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates. *Geotextiles and Geomembranes*. 2003. No. 21 (6). pp. 355-380.
- [81]. D.N. Austin. (1992). Three-dimensional polyethylene geocells for erosion control and channel linings. *Geotextiles and Geomembranes*. 1992. No. 11 (4-6). pp. 611-620.
- [82]. Gerald Raymond. (2000). Evaluation and suggested improvements to highway edge drains incorporating geotextiles. *Geotextiles and geomembranes*. 2000. No.18 (1). pp. 23-45.
- [83]. Austin R.A. (1997). The effect of installation activities and fire exposure on geogrid performance. *Geotextiles and Geomembranes*. 1997. No. 15 (4-6). pp. 367-376.
- [84]. Han Yong Jeon. (2010). Experimental investigation of installation damage for geogrids. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*. 2010. No. 163 (4). pp. 197-205.
- [85]. Mosallanezhad M., Hataf N., Taghavi S.H. (2016). Experimental and large-scale field tests of grid-anchor system performance in increasing the ultimate bearing capacity of granular soils. *Canadian Geotechnical Journal*. 2016. No. 53 (7). pp. 1047-1058.
- [86]. David Suits. (2016). Geotextile/geosynthetic testing standards development organizations. In: R. Coerner (ed) *Geotextiles*. Cambridge: Elsevier. 2016. pp. 91-104.
- [87]. R.A. Austin. (1996). Enhanced performance of asphalt pavements using geocomposites. *Geotextiles and Geomembranes*. 1996. No. 14 (3-4). pp. 175-186.
- [88]. Singh A., Phanikumar B.R., Prasad R. (2016). Effect of geogrid reinforcement on load carrying capacity of a coarse sand bed. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2016. No. 7 (3). pp. 1-6.
- [89]. Pinho-Lopes M., Paul A.M., Lopes M.L. (2016). Soil-geosynthetic interaction in pullout and inclined-plane shear for two geosynthetics exhumed after installation damage. *Geosynthetics International*. 2016. No. 23 (5). pp. 331-347.
- [90]. Lopes M.P., Paula A.M., Lopes M.L. (2015). Pullout response of geogrids after installation. *Geosynthetics International*. 2015. No. 22 (5). pp. 339-354.
- [91]. ГОСТ Р 50277-92. Материалы геотекстильные. Метод определения поверхностной плотности.
- [92]. German Geotechnical Society recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – EBGeo. 2011. p. 338.
- [93]. GG4 Determination of the Long-Term Design Strength of Geogrids, GRI standard practice. Geosynthetic Research Institute, 2013.

Mechanical damage of geosynthetic during installation

R.A. Poleguev ¹, N.S. Glebov ^{2*}, O.N. Stolyarov ³

¹⁻³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

doi: 10.18720/CUBS.63.5

Article history

Received 06.06.2017

Keywords

geosynthetics;
installation damage;
geogrid;
strength retention;
reduction factor;

ABSTRACT

Geosynthetic materials find new application areas in civil engineering. One of the main problems of using geosynthetic materials is their low resistance to mechanical damage during installation. This directly effect on the determination of their long-term strength due to the introduction of reduction factors. In this paper, the change in the mechanical properties of various types of geosynthetic materials during installation, depending on the type of soil, is considered. The analysis allows develop acceptable reduction factors for various types of geosynthetic materials.

Contact information:

- 1 +79992134916, 1111990@list.ru (Roman Poleguev, Student)
2* +79650050843, appolimp@mail.ru (Nikita Glebov, Student)
3 +78125526303, oleg.stolyarov@rambler.ru (Oleg Stolyarov, Ph.D., Associate Professor)

References

- [1]. Gayev D.A., Gavrish V.V. Sovremennyye geosinteticheskiye materialy i oblasti ikh primeneniya v stroitelstve // Trudy «Budushcheye nauki» 2013. Pp. 131-139.
- [2]. Drobysheynets S.Ya. Geotekstil v dorozhnom stroitelstve, puti ispolzovaniya // Naukovi notatki. 2015. № 46. s. 154-160.
- [3]. Dmitriyev I.I. Geosinteticheskiye materialy v dorozhnom stroitelstve // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. No. 10. Pp. 35-58.
- [4]. Terleyeva O.V., Ushakova I.G. Geosintetiki na strazhe ekologii. // Prioritetnyye napravleniya razvitiya nauki i tekhnologiy 2016. Pp. 14-16.
- [5]. Pankova T.A., Khazova A.G. Primeneniye geosinteticheskikh materialov v stroitelstve // Sovremennaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad 2015. s. 263-265.
- [6]. Kislyakov K.A., Kislyakov M.A., Simakov N.K. Klassifikatsiya geosinteticheskikh materialov i oblasti ikh primeneniya v dorozhnom stroitelstve // Vystavka innovatsiy 2016. s. 53-62.
- [7]. Goys T.O., Matrokhin A.Yu. Sovershenstvovaniye sistemy klassifikatsii geosinteticheskikh materialov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti. 2014. № 6 (354). s. 37-41.
- [8]. Filatova A.V. i dr. Izucheniye protsessov i rabot pri rekonstruktsii uchastka avtomobilnoy dorogi M5 Ural v Samarskoy oblasti. Tambov, 2017. s. 38-54
- [9]. Minchukova M.Ye. Ispolzovaniye geosinteticheskikh materialov pri stroitelstve zemlyanykh sooruzheniy razlichnogo naznacheniya // Nauka i tekhnika. 2006. № 3. s. 25-29.
- [10]. Gladshcheyn O.I. Osobennosti primeneniya geosinteticheskikh materialov v gidrotekhnicheskom stroitelstve // Hidrotekhnika. 2009. № 1. s. 69-70.
- [11]. Gladshcheyn O.I. Primeneniye geomembran dlya ustroystva protivofiltratsionnykh ekranov obyektov i sooruzheniy khraneniya nefi i nefteproduktov // Territoriya neftegaz. 2010. № 4. s. 50-51.
- [12]. Dolgopyatov I.V., Malushko A.M. Usileniye osnovaniya geosintetikami // Tekhnicheskiye nauki: tendentsii, perspektivy i tekhnologii razvitiya. 2015. s. 144-147.
- [13]. Ovcharov A.S., Zolotozubov D.G. Opredeleniya prochnostnykh kharakteristik geosinteticheskikh materialov // Vestnik permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo Politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2011. № 1. s. 54-58.
- [14]. Zolotozubov D.G., Zolotozubova O.A. Issledovaniye vliyaniya prokola na soprotivleniye razryvu geosinteticheskikh materialov // Vestnik permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo Politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2014. № 1. s. 80-90.
- [15]. Zolotozubov D.G., Zolotozubova O.A. Metody opredeleniya kharakteristik soprotivleniya mekhanicheskim vozdeystviyam geosinteticheskikh materialov // Vestnik permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo Politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i Arkhitektura. 2013. № 1. s. 98-103.
- [16]. Ovcharov A.S., Zolotozubov D.G. Ispytaniya geosinteticheskikh materialov po prochnosti na razryv dlya optimalnogo proyektirovaniya armirovannykh osnovaniy // Vestnik permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo Politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2012. № 2. s. 73-81.
- [17]. Bathurst R., Huang, B., Allen, T. (2011). Analysis of installation damage tests for LRFD calibration of reinforced soil structures. Geotextiles Geomembranes. 2011. No. 29 (3). pp. 323–334.
- [18]. Koerner R. (2012). Designing with geosynthetics: Sixth edition. Xlibris corp. 2012. p. 818.
- [19]. Shukla S.K. (2011). Handbook of Geosynthetic engineering: Second edition. ICE publishing. 2011. pp. 424.
- [20]. S.R. Allen. (2016). Geotextile durability. In book Geotextiles. 2016, pp. 177-215.
- [21]. J.E. Sprague. (2016). Geosynthetics in erosion and sediment control. In: R. Coerner (ed) Geotextiles. Cambridge: Elsevier. 2016. pp. 531-562.
- [22]. Mohammad Babaei. (2017). Laboratory and field investigation of the effect of geogrid-reinforced ballast on railway track lateral resistance. Geotextiles and Geomembranes. 2017. No. 45 (2). pp. 23-33.
- [23]. Amy Rentz. (2016). Field and laboratory observations of down-slope bentonite migration in exposed composite liners. Geotextiles and geomembranes. 2016. No. 44 (5). pp. 686-706.
- [24]. Maria de Lurdes Lopes. (2013). Effects of the loading rate and cyclic loading on the strength and deformation properties of a geosynthetic. Construction and Building Materials. 2013. No. 49. pp. 758-765.
- [25]. Cho S. D. (2012). Stabilization of soil slope using geosynthetic mulching mat. Geotextiles and Geomembranes. 2002. No. 20 (2). pp. 135-146

- [26]. Yung-Shan Hong. (2014). A simplified approach for evaluating the bearing performance of encased granular columns. *Geotextiles and Geomembranes*. 2014. No. 42 (4). pp. 339-347.
- [27]. ISO 10722:2007. Geosynthetics - index test procedure for the evaluation of mechanical damage under repeated loading – damage caused by granular material.
- [28]. GOST R 56336-2015. Dorogi avtomobilnyye obshchego polzovaniya. Materialy geosinteticheskkiye. Metod opredeleniya stoykosti k tsiklicheskim nagruzkam.
- [29]. G.P. Raymond. (1999). Laboratory survivability of nonwoven geotextiles on open-graded crushed aggregate. *Geosynthetics International*. 1999. No. 2. pp. 93-117.
- [30]. Yung-Shan Hong. (2009). Laboratory tests on geosynthetic-encapsulated sand columns. *Geotextiles and Geomembranes*. 2009. No. 27 (2). pp. 107-120.
- [31]. GT7 Standard practice for determination of the long-term design strength of geotextiles, GRI standard practice. Geosynthetic research institute. 2013.
- [32]. ISO 13437:1998. Geotextiles and geotextile-related products - method for installing and extracting samples in soil, and testing specimens in laboratory.
- [33]. ASTM d5818, 2000. Obtaining samples of geosynthetics from a test section for assessment of installation damage. American society for testing and materials, west Conshohocken, PA, USA.
- [34]. ODM 218.2.047-2014. Metodika otsenki dolgovechnosti geosinteticheskikh materialov, ispolzuyemykh v dorozhnom stroitelstve.
- [35]. Stolyarov O., Baranov A., Deviatilov A. (2014). A comparative study of the structure and the installation damage of geosynthetics. 10th International conference on geosynthetics. Berlin. 2014.
- [36]. C.C. Huang. (2006). Laboratory simulation of installation damage of a geogrid. *Geosynthetics International*. 2006. No. 20 (2). pp. 120–132.
- [37]. Allen T.M. (1989). Strength losses occurring due to installation damage for several geosynthetics (sr-90 rainier avenue eastbound preload wall). Olympia, Washington, USA: Washington state department of transportation. 1989. p. 81.
- [38]. Allen T.M. (1989). Strength losses occurring due to installation damage for several geosynthetics (sr-504 elk rock wall). Olympia, Washington, USA: Washington state department of transportation. 1989. p. 23.
- [39]. Allen T.M., Bathurst, R.J. (1994). Characterization of geosynthetic load-strain behavior after installation damage. *Geosynthetics International*. 1994. No. 1. pp. 181-199.
- [40]. Allen T.M., Bathurst, R.J. (1996). Investigation of the combined allowable strength reduction factor for geosynthetic creep and installation damage. *Geosynthetics International*. 1996. No. 3. pp. 407-439.
- [41]. Allen T.M., Bathurst, R.J. (2006). Design and performance of an 11-m high block-faced geogrid wall. Proceedings of the 8th International conference on geosynthetics. Yokohama, Japan. 2006. pp. 953-956.
- [42]. Hufenus, R., Rügger, R., Flum, D., Sterba, I.J. (2005). Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*. 2005. No. 23. pp. 401-424.
- [43]. Hufenus R., Schrade U. (2006)., An optimized method to measure the hydraulic conductivity of geosynthetics under load. *Geotextiles and Geomembranes*. 2006. No. 24 (4). pp. 243-253.
- [44]. Hufenus R. (2006). Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade, *Geotextiles and Geomembranes*. 2006. No. 24 (1). pp. 21-37.
- [45]. McCartney J. (2013). Unsaturated geotechnics applied to geoenvironmental engineering problems involving geosynthetics. *Engineering Geology*. 2013. No. 165 (24). pp. 143-153.
- [46]. Lim S.Y., McCartney, J.S. (2013). Evaluation of effect of backfill particle size on installation damage reduction factors for geogrids. *Geosynthetics International*. 2013. No. 20 (2). pp. 62–72.
- [47]. Richard J. Bathurst. (2015). Reliability analysis of geogrid installation damage test data in japan. *Soils and foundations*. 2015. No. 55 (2). pp. 393-403.
- [48]. Richard J. Bathurst. (2004). Lateral and axial deformation of PP, HDPE and PET geogrids under tensile load. *Geotextiles and Geomembranes*. 2004. No. 22 (4). pp. 205-222.
- [49]. Richard J. Bathurst. (2014). Reliability analysis of geogrid creep data in japan. *Soils and Foundations*. 2014. No. 54 (4). pp. 608-620.
- [50]. Richard J. Bathurst. (2012). Reliability analysis of soil-geogrid pullout models in japan. *Soils and Foundations*. 2012. No. 52 (4). pp. 620-633.
- [51]. Huang, B., Zhao, Y., Li, M. (2008). Investigation of installation damage on warp knit type geogrid using field tests. *Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering*. 2008. No. 30. pp. 284–287.

- [52]. Huang, Wang, Z.-H. (2007). Installation damage of geogrids: Influence of load intensity. *Geosynthetics International*. No. 14 (2). pp. 65–75.
- [53]. Huang. (2015). Experimental and numerical study of geosynthetic reinforced soil over a channel. *Geotextiles and Geomembranes*. 2015. No. 43 (5). pp. 382-392.
- [54]. Xiang Shu. Huang. (2015). Evaluation of geogrid reinforcement effects on unbound granular pavement base courses using loaded wheel tester. *Geotextiles and Geomembranes*. 2015. No. 43 (5). pp. 462-469.
- [55]. W. Huang. (2016). Geotextile tubes for dewatering and decontamination of fine-grained soils. In: R. Coerner (ed) *Geotextiles*. Cambridge: Elsevier. 2016. pp. 483-494.
- [56]. Watn A. (2002). Geosynthetic damage – from laboratory to field. *Proceedings of the 7th International conference on Geosynthetics*. 2002. pp, 1203–1226.
- [57]. Zornberg J.G. (2009). Installation and ultraviolet exposure damage of geotextiles. *Fourth European Geosynthetics Conference*. 2009. p. 226.
- [58]. Natália de Souza Correia. (2011). Effect of bituminous impregnation on nonwoven geotextiles tensile and permeability properties. *Geotextiles and Geomembranes*. 2011. No. 29 (2). pp. 92-101.
- [59]. Carina Maia Lins Cost. (2016). Centrifuge evaluation of the time-dependent behavior of geotextile-reinforced soil walls. *Geotextiles and Geomembranes*. 2016. No. 44 (2). pp. 188-200.
- [60]. Carlos J.R. (2015). Effect of soil grain size distribution on mechanical damage of nonwoven geotextiles under repeated loading. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. 2015. No. (1). pp. 1-9.
- [61]. M. Pinho-Lopes. (2015). Synergisms between laboratory mechanical and abrasion damage on mechanical and hydraulic properties of geosynthetics. *Transportation Geotechnics*. 2015. No. 4. pp. 50-63.
- [62]. Maria de Lurdes Lopes. (2014). Some synergisms in the laboratory degradation of a polypropylene geotextile. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 73. pp. 586-591.
- [63]. Han Yong Jeon. (2006). Evaluation of combination effects of installation damage and creep behavior on long-term design strength of geogrids. *Polymer Testing*. 2006. No. 25 (6). pp. 819-828.
- [64]. Han Yong Jeon. (2006). Evaluation of the long-term performance of geosynthetic reinforcements from their reduction factors. *Polymer Testing*. 2006. No. 25 (3). pp. 289-295.
- [65]. Han Yong Jeon. (2002). Assessment of long-term performances of polyester geogrids by accelerated creep test. *Polymer Testing*. 2002. No. 21 (5). pp. 489-495.
- [66]. Kaliakin V.N., Dechasakulsom M. (2002). Development of a general time-dependent model for geogrids. *Geosynthetics International*. 2002. No. 9 (4). pp. 319-342.
- [67]. Han Yong Jeon. (2014). Reduction factor analysis of geogrids to consider affecting parameters during service periods. *10th International conference on geosynthetics*. Berlin. 2014. pp. 1856-1861.
- [68]. M. Pinho-Lopes. (2002). Experimental analysis of the combined effect of installation damage and creep of geosynthetics. *Geosynthetics*. 2002. pp. 1539–1544.
- [69]. Zou C., Wang Y., Lin J., Chen Y. (2002). Creep behaviors and constitutive model for high density polyethylene geogrid and its application to reinforced soil retaining wall on soft soil foundation. *Construction and Building Materials*. 2002. No. 114. pp. 763-771.
- [70]. M.L. Lopes. (1994). Modelling performance of a sloped reinforced soil wall using creep function. *Geotextiles and Geomembranes*. 1994. No. 13 (3). pp. 181-197.
- [71]. J.H. Greenwood. (2002). The effect of installation damage on the long-term design strength of a reinforcing geosynthetic. *Geosynthetics International*. 2002. No. 9 (3). pp. 247–258.
- [72]. De Mello. (2015). Influence of soil confinement on the creep behavior of geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*. 2015. No. 43 (4). pp. 351-358.
- [73]. Cancelli P. (2000). Geogrid compaction damage resistance. *Proceedings of the 2nd European Geosynthetics Conference*. Bologna, Italy. 2000. pp. 883–887.
- [74]. Troost G. H. (1990). Influence of weaving structure and coating on the degree of mechanical damage of reinforcing mats and woven geogrids, caused by different fills, during installation. *Proceedings of the 4th international conference on geotextiles, geomembranes and related products*. The Hague, the Netherlands. 1990. No. 2, pp. 609–614.
- [75]. McGown A., Kupec J., Heerten G., Von Maubeuge K. (2005). Testing biaxial geogrids for specification and design purposes. *Geotechnical Special Publication*. 2005. No. 130. pp. 4045-4055.
- [76]. Collin G. J. (1997). *Design manual for segmental retaining walls*. 2nd edition. NCMA. Herndon. USA. 1997.

- [77]. Yoo H., Jeon H.-Y., Chan Y.-C. (2010). Evaluation of engineering properties of geogrids for soil retaining walls. *Textile Research Journal*. 2010. No. 80 (2). pp. 184-192.
- [78]. Cho S. D. (2001). Evaluation of installation damage of trigrid. Report 2001-046. Korean institute of construction technology. Seoul, South Korea. 2001.
- [79]. Ho S. D. (2001). Evaluation of installation damage of HDPE geogrids. Report 2001-045. Korean institute of construction technology. Seoul, South Korea. 2001.
- [80]. Gerald Raymond. (2003). The effect of geogrid reinforcement on unbound aggregates. *Geotextiles and Geomembranes*. 2003. No. 21 (6). pp. 355-380.
- [81]. D.N. Austin. (1992). Three-dimensional polyethylene geocells for erosion control and channel linings. *Geotextiles and Geomembranes*. 1992. No. 11 (4-6). pp. 611-620.
- [82]. Gerald Raymond. (2000). Evaluation and suggested improvements to highway edge drains incorporating geotextiles. *Geotextiles and geomembranes*. 2000. No.18 (1). pp. 23-45.
- [83]. Austin R.A. (1997). The effect of installation activities and fire exposure on geogrid performance. *Geotextiles and Geomembranes*. 1997. No. 15 (4-6). pp. 367-376.
- [84]. . Han Yong Jeon. (2010). Experimental investigation of installation damage for geogrids. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Ground Improvement*. 2010. No. 163 (4). pp. 197-205.
- [85]. Mosallanezhad M., Hataf N., Taghavi S.H. (2016). Experimental and large-scale field tests of grid-anchor system performance in increasing the ultimate bearing capacity of granular soils. *Canadian Geotechnical Journal*. 2016. No. 53 (7). pp. 1047-1058.
- [86]. David Suits. (2016). Geotextile/geosynthetic testing standards development organizations. In: R. Coerner (ed) *Geotextiles*. Cambridge: Elsevier. 2016. pp. 91-104.
- [87]. R.A. Austin. (1996). Enhanced performance of asphalt pavements using geocomposites. *Geotextiles and Geomembranes*. 1996. No. 14 (3-4). pp. 175-186.
- [88]. Singh A., Phanikumar B.R., Prasad R. (2016). Effect of geogrid reinforcement on load carrying capacity of a coarse sand bed. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2016. No. 7 (3). pp. 1-6.
- [89]. Pinho-Lopes M., Paul A.M., Lopes M.L. (2016). Soil-geosynthetic interaction in pullout and inclined-plane shear for two geosynthetics exhumed after installation damage. *Geosynthetics International*. 2016. No. 23 (5). pp. 331-347.
- [90]. Lopes M.P., Paula A.M., Lopes M.L. (2015). Pullout response of geogrids after installation. *Geosynthetics International*. 2015. No. 22 (5). pp. 339-354.
- [91]. GOST R 50277-92. Materialy geotekstilnyye. Metod opredeleniya poverkhnostnoy plotnosti.
- [92]. German Geotechnical Society recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – EBGeo. 2011. p. 338.
- [93]. GG4 Determination of the Long-Term Design Strength of Geogrids, GRI standard practice. Geosynthetic Research Institute, 2013.

Полегуев Р.А., Глебов Н.С., Столяров О.Н., Механические повреждения геосинтетических материалов при установке, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №12(63), С.97-112.

Poleguev R.A., Glebov N.S., Stolyarov O.N. Mechanical damage of geosynthetic during installation, Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 12 (63). Pp. 97-112. (rus)