

УДК [677.07; 625.877]:624.131.153

**УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ,
УКРЕПЛЕННЫХ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ****Ю.В. ХОМЧЕНКО***(Витебский государственный технологический университет)*

Рассматривается вопрос использования геотекстильных материалов для укрепления откосов и склонов. В качестве объекта исследования рассматривалась наклонная поверхность земли (откос или склон), оценка устойчивости откоса или склона. Анализ степени устойчивости реальных грунтов проводился на основе наиболее характерных грунтов Республики Беларусь. Предложена методика учета удерживающего покрытия для определения устойчивости откосов и склонов. Проведенные расчеты показали, что для склонов, в которых используется нетканый материал в качестве удерживающего покрытия, увеличивается коэффициент устойчивости по сравнению со склонами, не укрепленными таким материалом, при прочих равных условиях.

Введение. В настоящее время в условиях острой конкуренции одной из главных задач текстильных предприятий Республики Беларусь является необходимость создания новых импортозамещающих технологий, обеспечивающих постоянное расширение ассортимента текстильных изделий высокого качества с широким спектром свойств. В свою очередь, одним из способов расширения ассортимента является создание новых видов геотекстильных материалов.

Текстильная промышленность предлагает потребителю различные виды геотекстильных материалов, которые имеют самое различное назначение. Во всем мире производство геотекстильных материалов – динамично развивающаяся подотрасль текстильной промышленности. Производство геотекстиля является одним из приоритетных инновационных направлений. В настоящее время большая часть геотекстиля отечественного и иностранного производства направляется на строительство и ремонт дорожных покрытий. Меньший объем поступает на обустройство железнодорожных путей, на выполнение различных гидротехнических работ и реализацию проектов ландшафтного дизайна на муниципальных и частных территориях. К основным факторам, обусловившим популярность геотекстильных материалов, относятся их универсальность, доступность, экологическая безопасность, долговечность, климатическая стойкость и экономическая целесообразность.

В то же время, как отмечается в работе [1], интенсивное коттеджное строительство и рост цен на землю делают необходимым активное освоение неудобных участков – низин, склонов, оврагов. В этой ситуации геосинтетики позволяют превратить недостаток земельного участка в достоинство. Одной из важнейших особенностей применения геосинтетических материалов при проведении ландшафтных работ является их использование для укрепления склонов и предотвращения эрозии грунта (рис. 1).

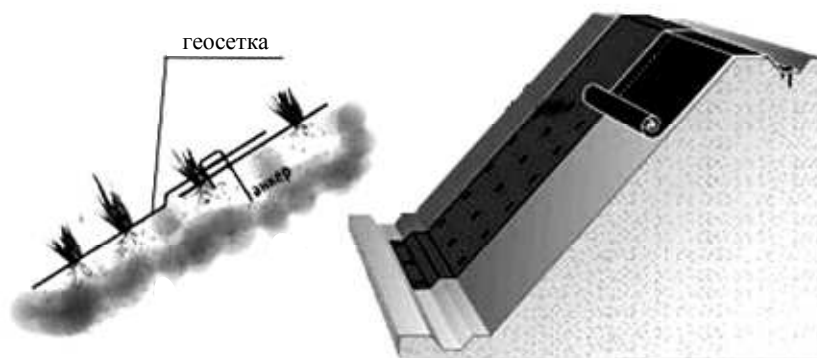


Рис. 1. Вариант использования геосинтетического материала для укрепления откосов и склонов

Целью данной работы стал выбор наиболее приемлемого способа анализа устойчивости откоса и склона, что позволило сделать вывод о необходимости проектирования противооползневых мероприятий. Для достижения указанной цели были использованы методы математической статистики и обработки данных, а также прикладные программы Maple, MS Excel.

Основная часть. Вследствие освоения под строительство территорий, которые раньше считались непригодными, все чаще приходится возводить здания и сооружения на косогорах и неустойчивых склонах. При этом кроме задач обеспечения надежности возводимых корпусов требуется решать вопросы сохранения окружающей среды и экономного использования территории, а следовательно и вопрос рационального проектирования и строительства на неустойчивых склонах, который в настоящее время приобрел наиболее актуальное значение. В этой связи немаловажной проблемой остается оценка степени устойчивости склона, на котором необходимо вести строительство [2].

При проектировании любых противооползневых мероприятий, при строительстве на неустойчивых склонах или при размещении механизмов на откосах, склонах или бортах оврагов работы следует начинать с оценки степени устойчивости наклонной поверхности земли. Такая оценка производится путем вычисления так называемого коэффициента устойчивости, который характеризуется отношением сил, удерживающих массив грунта на наклонной поверхности, к силам, сдвигающим этот массив. Большинство из существующих методов расчета устойчивости склонов было разработано для вычисления коэффициента устойчивости склона.

В данной работе стоит задача выбрать наиболее приемлемый способ анализа устойчивости откоса и склона для грунтов, наиболее характерных для Беларуси, что позволит сделать вывод о необходимости проектирования противооползневых мероприятий.

Откос – это искусственно созданная поверхность, ограничивающая природный грунтовый массив, выемку или насыпь. Откосы образуются при возведении различного рода насыпей (дорожное полотно, дамбы, земляные плотины и т.д.), выемок (котлованы, траншеи, каналы, карьеры и т.п.) или при пере профилировании территорий.

Склоном называется откос, образованный природным путем и ограничивающий массив грунта естественного сложения. Откос отличают от склона большим углом наклона свободной поверхности к горизонтали.

Согласно различным литературным источникам, откос – это склон с углом наклона свободной поверхности к горизонтали более 30°. Нормативная классификация грунтовых массивов, подразделяющая их на склоны и откосы, отсутствует. В связи с этим приведенные выше определения откоса являются условными [3].

Как указано в «Рекомендациях по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления» [2], для проектирования противооползневых удерживающих конструкций глубокого заложения наиболее приемлемыми являются методы Маслова – Берера, Г.М. Шахунянца, а также метод круглоцилиндрической поверхности скольжения (как правило, в однородных грунтах).

Общая идея этих методов состоит в том, что наиболее опасная поверхность скольжения (экстремаль) может быть установлена методом пробных попыток – путем расчета коэффициентов устойчивости (K_y) склона для различных поверхностей и принятия той, для которой этот коэффициент минимален.

Если склон сложен из разнородных пород, то оползание грунта часто идет по некоторой произвольной кривой поверхности скольжения. В этом случае для определения степени устойчивости откоса наиболее оправданным является метод горизонтальных сил (метод Маслова – Берера).

Метод Г.М. Шахунянца более строго соблюдает законы строительной механики, и его решение является точным при круглоцилиндрической поверхности скольжения и приближительным в других случаях.

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения является наиболее распространенным из приближенных методов расчета устойчивости массивов грунта. Задача расчета заключается в определении коэффициента устойчивости природных склонов или искусственных откосов для наиболее опасной поверхности скольжения. Коэффициент устойчивости характеризуется отношением момента всех сил, удерживающих, к моменту всех сил, сдвигающих относительно центра дуги скольжения. За поверхность скольжения на основании многолетних наблюдений и измерений Шведской геотехнической комиссии (проф. Феллениус и др.) принимают круглоцилиндрическую поверхность и обычно путем подбора, используя те или иные приемы, определяют центр наиболее опасной поверхности скольжения, при которой коэффициент устойчивости будет наименьшим [4].

В основу расчета по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения (согласно [5]) положено соотношение удерживающих ($M_{уд}$) и вращательных ($M_{вр}$) моментов (рис. 2):

$$K_y = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{вр}} = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i}{\sum P_i \sin \alpha_i}, \quad (1)$$

где P_i – вес расчетного блока, Н; α_i – угол между направлением силы P_i и нормальной составляющей N_i ; φ_i – угол внутреннего трения; c_i – сцепление, Н/м; l_i – ширина расчетного блока, м.

Так, при расчете устойчивости грунтов считаем, что грунт однородный, поэтому сцепление c_i для каждого блока будет одинаковой. Значение угла внутреннего трения для каждого блока также одинаково,

поэтому его можно вынести за знак суммы. После этих преобразований формулу (1) можно переписать в следующем виде:

$$K_y = \frac{\sum M_{yD}}{\sum M_{BP}} = \frac{tg\varphi \sum P_i \cos \alpha_i + c \sum l_i}{\sum P_i \sin \alpha_i}. \quad (2)$$

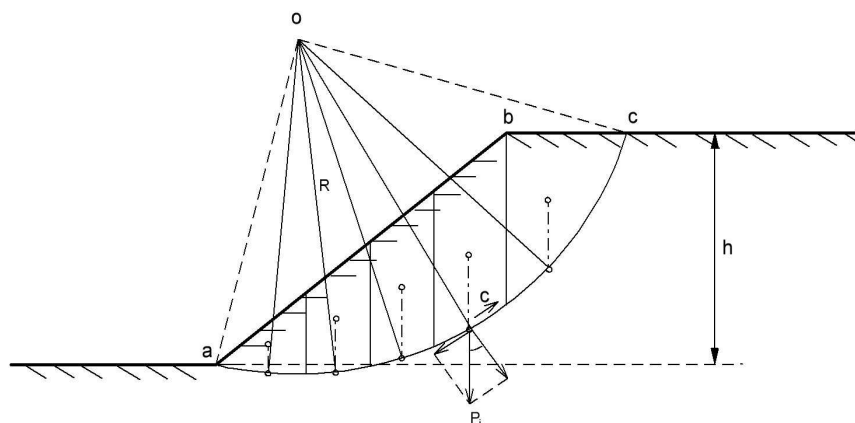


Рис. 2. Схема к расчету устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения

Упрощение в расчет устойчивости откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения внесено проф. М.Н. Гольдштейном [4], который на основе графических построений и пробных расчетов, определяя центры опасных дуг скольжения по данным «Москва – Волгострой», составил подробные вспомогательные таблицы.

По М.Н. Гольдштейну, выражение (1) для коэффициента устойчивости откоса может быть представлено в виде

$$K_y = A \cdot tg\varphi + B \cdot \frac{c}{\gamma h}, \quad (3)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от геометрических размеров сползающего клина, выраженных в долях, от высоты откоса h ; $tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта; c – удельное сцепление грунта, H/m^2 ; γ – объемный вес грунта, H/m^3 ; h – высота откоса, м.

Для применения данной методики и оценки степени устойчивости реальных грунтов были проанализированы и выявлены наиболее характерные грунты Республики Беларусь.

Как указано в статье [6], в северной части Беларуси в области поозерского оледенения основным комплексом отложений является поозерский горизонт. Это основной комплекс, представленный ледниковыми и водно-ледниковыми образованиями. Типичным представителем глинистых водно-ледниковых отложений являются известные в инженерно-геологической практике ленточные глины, широко развитые на севере Республики Беларусь. Они занимают значительное место в разрезе поозерских образований.

Для центральной части нашей республики характерны лессовидные грунтовые толщи, в частности, суглинки, супеси с прослоями пылеватого и мелкого песка.

Южная область занимает территорию Белорусского Полесья, где широким распространением пользуются отложения речных террас. На геологических разрезах в составе аллювиальных отложений, покрывающих супесчано-суглинистую толщу, повсеместно преобладают слоистые мелкие пески с высоким содержанием тонкодисперсной фракции и выдержанным литологическим составом по простираанию. При проектировании сооружений должно учитываться наличие на малых глубинах (порядка нескольких метров) супесей и суглинков, обладающих высокой степенью просадочности, что подтверждено бурением разведочных скважин. В таблице 1 приведены характеристики рассматриваемых грунтов (данные взяты из [7]).

В таблице 2 приведены результаты расчета устойчивости склонов по описанной выше методике, состоящих из грунтов, наиболее характерных для Беларуси. В ходе исследования рассматривались различные варианты высоты склона. Установлено, что, начиная с высоты склона, равной 10 м, появляются признаки неустойчивого склона. Расчет приведен при высоте склона 20 м.

Согласно [8], при расчете откосов обычно обеспечивается коэффициент устойчивости в пределах 1,1...1,5. Если говорить об угле откосов или склонов, то большинство рассматриваемых в данной

работе – это откосы железнодорожных, автомобильных дорог, откосы, проектируемые при строительстве каких-либо объектов, склоны водоемов. Угол у этих откосов и склонов близок к 70 градусам.

Таблица 1

Характеристика грунтов при коэффициенте пористости $e = 0,55$

Наименование грунта	Удельное сцепление, кПа	Внутреннее трение, град	Объемный вес грунта $\gamma_{гр}$, кН/м ³
Песчаные грунты (гравелистые и крупные)	1	32	17,6
Песчаные грунты (средней крупности)	2	28	17,2
Песчаные грунты (мелкие)	4	25	17,7
Песчаные грунты (пылеватые)	6	22	18,6
Лессовидные супеси	10	19	18,1
Лессовидные суглинки	20	14	18,6

Таблица 2

Значения коэффициента устойчивости для склонов, состоящих из разных грунтов, при разном угле наклона склона

Наименование грунта \ Угол склона	72°	70°	68°	66°	63°	60°	56°	51°	45°
Песчаные грунты (гравелистые и крупные)	1,47	1,66	1,66	1,81	2,03	2,01	2,22	2,26	2,26
Песчаные грунты (средней крупности)	1,27	1,43	1,44	1,56	1,75	1,73	1,91	1,95	1,96
Песчаные грунты (мелкие)	1,15	1,29	1,30	1,41	1,58	1,56	1,72	1,76	1,77
Песчаные грунты (пылеватые)	1,03	1,16	1,17	1,26	1,41	1,40	1,54	1,57	1,59
Лессовидные супеси	0,96	1,07	1,08	1,16	1,29	1,29	1,41	1,45	1,47
Лессовидные суглинки	0,89	0,98	1,00	1,06	1,16	1,18	1,27	1,32	1,36

Анализ таблицы 2 показывает, что для наиболее характерных составов грунтов для Беларуси коэффициент устойчивости откосов и склонов не отвечает требованиям, предъявляемым при строительстве, при выбранной высоте откоса. Для таких склонов необходимы мероприятия по их укреплению, и один из способов укрепления – *использование геотекстильных материалов*.

Для учета геотекстильного материала по формуле (3) были выполнены математические преобразования, а именно сопоставлены формулы (2) и (3) и приведены к общему виду. Для этого в формуле (2) от l_i перешли к h_i :

$$l_i = \frac{h_i}{\sin \alpha_i} . \quad (4)$$

Также P_i – вес расчетного блока – можно записать в виде произведения объемного веса грунта расчетного блока на объем этого блока.

$$P_i = \gamma_i V_i , \quad (5)$$

Подставляя формулы (4) и (5) в (2) и делая преобразования, получаем формулу:

$$K_y = \frac{\sum V_i \cdot \cos \alpha_i}{h^2 \cdot \sum V_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{\sum \frac{1}{\sin \alpha_i}}{\sum V_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \frac{c}{\gamma h} . \quad (6)$$

Сопоставляя формулы (6) и (3), можно записать, что значения коэффициентов A и B в формуле (3) могут быть рассчитаны следующим образом:

$$A = \frac{\sum V_i \cdot \cos \alpha_i}{h^2 \cdot \sum V_i \cdot \sin \alpha_i} , \quad B = \frac{\sum \frac{1}{\sin \alpha_i}}{\sum V_i \cdot \sin \alpha_i} . \quad (7)$$

Это позволяет нам переходить от формулы (2) к формуле (3), что в свою очередь упрощает процесс расчета при введении в систему нетканого материала как удерживающего склон покрытия (рис. 3).

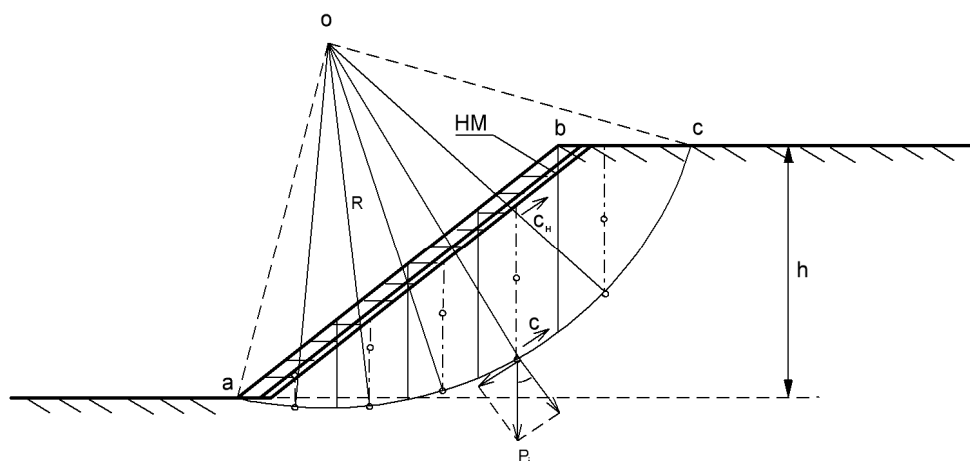


Рис. 3. Схема к расчету устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом нетканого материала

При использовании нетканого материала в качестве удерживающего покрытия в сумме удерживающих сил будет появляться еще один член формулы – сцепление откоса непосредственно с нетканым материалом. Тогда формула (2) примет следующий вид:

$$K_y = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{BP}} = \frac{tg\phi \sum P_i \cos \alpha_i + c \sum l_i + c_n \sum l_i}{\sum P_i \sin \alpha_i}, \quad (8)$$

где c_n – сцепление нетканого материала с поверхностью откоса.

Проводя математические преобразования, описанные выше, и сопоставляя их с формулами (3) и (7), а также принимая, что разбивая откос на блоки, последние принимают форму параллелепипеда (см. рис. 3), можно записать упрощенную формулу для расчета устойчивости откосов с использованием нетканого материала в качестве удерживающего покрытия в виде:

$$K_y = A \cdot tg\phi + B \cdot \frac{c + c_n}{\gamma h}. \quad (9)$$

В таблице 3 приведены результаты расчета устойчивости склонов по описанной выше методике, состоящих из грунтов, наиболее характерных для Беларуси. Величина сцепления нетканого материала с поверхностью откоса составляла 0,5...1 от удельного сцепления грунта. Расчет приведен при высоте склона 20 м.

Таблица 3

Значения коэффициента устойчивости для склонов с удерживающим материалом

Угол склона	72°	70°	68°	66°	63°	60°	56°	51°	45°
Наименование грунта									
Песчаные грунты (гравелистые и крупные)	1,48...1,49	1,67...1,68	1,67...1,68	1,82...1,83	2,04...2,05	2,02...2,03	2,23...2,24	2,28...2,28	2,28...2,29
Песчаные грунты (средней крупности)	1,29...1,31	1,45...1,47	1,46...1,47	1,58...1,60	1,77...1,79	1,75...1,78	1,94...1,96	1,98...2,00	1,99...2,01
Песчаные грунты (мелкие)	1,18...1,22	1,33...1,36	1,34...1,37	1,45...1,48	1,62...1,65	1,61...1,65	1,77...1,81	1,81...1,85	1,82...1,87
Песчаные грунты (пылеватые)	1,05...1,13	1,21...1,26	1,22...1,27	1,31...1,37	1,46...1,52	1,46...1,52	1,60...1,66	1,64...1,70	1,66...1,73
Лессовидные супеси	1,05...1,12	1,16...1,24	1,17...1,26	1,26...1,35	1,38...1,48	1,39...1,49	1,51...1,61	1,57...1,67	1,60...1,72
Лессовидные суглинки	1,15...1,20	1,14...1,30	1,18...1,35	1,24...1,42	1,34...1,52	1,38...1,57	1,47...1,66	1,54...1,75	1,6...1,84

Анализируя таблицу 3, можно сделать вывод, что применение нетканого материала в качестве удерживающего покрытия значительно увеличивает коэффициент устойчивости склона. И при одинаковой величине высоты и крутизны склона обеспечивает больший его запас, практически полностью обес-

печивая необходимое значение коэффициента, что в свою очередь значительно расширяет возможности гражданского строительства.

Заключение. Откорректированная формула позволяет определять коэффициент устойчивости для склонов с удерживающим покрытием. Проведенные расчеты показали, что для склонов, в которых используется нетканый материал в качестве удерживающего покрытия, увеличивается коэффициент устойчивости по сравнению со склонами без такого материала при прочих равных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хай-тек для ландшафта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vashsad.ua/landscape-design/interesting_plants/articles/show/8504/.
2. Гинзбург, Л.К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления / Л.К. Гинзбург; ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР № 1986. – М., 1985. – 70 с.
3. Пьянков, С.А. Механика грунтов: учеб. пособие / С.А. Пьянков, З.К. Азизов. – Ульяновск: УО «УлГТУ», 2008. – 103 с.
4. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Гос. изд-во лит. по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 636 с.
5. Котов, М.Ф. Механика грунтов в примерах / М.Ф. Котов. – М.: Высш. школа, 1968. – 273 с.
6. Закономерности распространения грунтовых толщ в Беларуси и особенности их прочностных и деформационных свойств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bsc.by/story/zakonomernosti-rasprostraneniya-gruntovyh-tolshch-v-belarusi-i-osobennosti-ih-prochnostnyh-i>.
7. Чугаев, Р.Р. Гидротехнические сооружения: учеб. пособие для студ. гидротехн. спец. вузов: в 2-х ч. / Р.Р. Чугаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – Ч. I: Глухие плотины. – 318 с.
8. Инженерно-геологические изыскания и исследования горных пород [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alobuild.ru/gidrotehnicheskiye-sooruzheniya/inzhenerno-geologicheskiyeiziskaniya.php>.

Поступила 21.10.2014

STABILITY OF SLOPES AND HILLSIDES STRENGTHENED WITH GEOTEXTILES

Y. KHOMCHANKA

The issue of using geotextiles for strengthening of slopes and hillsides is considered. The object of the study is the sloping surface of the earth (a slope or a hillside) and evaluation of the stability of a slope or a hillside. Analysis of the degree of real soil stability has been based on the most typical soils for the Republic of Belarus. Method of analyzing the stability of the holding cover of the slope or the hillside is introduced. The calculations have shown that for the slopes, on which non-woven fabric as the holding cover was used, the stability rate would increase in comparison with the slopes without such material other conditions being equal.