

## УПРОЧНЯЮЩИЙ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ ТРИКОТАЖНОЙ ГЕОСЕТКИ НА СКЛОНАХ

### REINFORCING AND EROSION PREVENTIVE EFFECT OF THE KNITTING GEONETS ON THE SLOPES

*А.П. БАШКОВ, М. ЕЛЬ-КЕМАРИ, Г.В. БАШКОВА, С.В. СОКОЛОВА*  
*A.P. BASHKOV, M. EL-KEMARY, G.V. BASHKOVA, S.V. SOKOLOVA*

(Ивановский государственный политехнический университет,  
Университет г. Кафрельшейх, Египет)  
(Ivanovo State Polytechnic University, Russia; Kafrelsheikh University, Egypt)  
E-mail: milena55@yandex.ru

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением степени уплотнения грунта, расположенного внутри ячеек льняного трикотажного геополотна сетчатой структуры, используемого для предотвращения эрозии почвы на склонах при поверхностном армировании. Приводится методика расчета внутренних напряжений сил трения и прессования в зависимости от структурных параметров и волокнистого состава геотрикотажа, а также от глубины его заложения и типа грунта. Показано, что силы внутреннего трения, зависящие от технологических параметров геосетки, оказывают решающее значение на упрочняющий эффект.*

*The article discusses issues related to the definition of degree of soil compaction, located inside the cells linen warp-knitted strength geonets structure used to prevent soil erosion on slopes with surface reinforcement. It's presented the calculation technique of the internal stress and friction forces compression depending on the structural parameters and fiber composition knitted geofabrics as well as the depth of its inception and the type of soil. Shown that the strength of the internal friction depending on the technological parameters of geonets decisive influence to reinforcing effect.*

**Ключевые слова:** геоккомпозит, эрозия почвы, льняные трикотажные геополотна, силы внутреннего трения, уплотнение сыпучей среды, пористость.

**Keywords:** geocomposites, soil erosion, linen knit geofabrics, internal friction forces, compaction granular medium, porosity.

В последнее десятилетие происходит активизация разработок и производства геотекстильных полотен из натуральных волокон. Такие изделия используются для контроля эрозии и стабилизации поверхности при поверхностном армировании слабых грунтов на склонах. Материалы из натурального сырья безопасны для окружающей среды по сравнению с их синтетическими прототипами, так как со вре-

менем подвергаются полному биоразложению, а сами волокна являются возобновляемым ресурсом. При использовании трикотажной сетчатой структуры существенно увеличивается сцепление грунта, поскольку частицы предпочтительно мелкообломочного грунта уплотняются и заклиниваются в ячейках геосеток. При этом образуется устойчивая система – геоккомпозит, в которой усилия, передающиеся на

грунт и геосетку, равномерно распределяются по всему объему.

Трикотажная основовязаная сеть из льносодержащей пряжи, применяемая как противозрозийный материал, обеспечивает решение следующих задач:

- минимизирует подвижность фрагментов грунта;

- минимизирует динамическое воздействие влаги, рассеивая падающие дождевые капли (струи);

- способствует активному росту травяной растительности, укрепляющей склон, при полном собственном биоразложении.

Для этого осуществляется поверхностное армирование склона при размещении сетки на небольшой глубине параллельно наклонной поверхности. Под действием нагрузок и микропотоков влаги происходит уплотнение (прессование) как частиц грунта в ячейках сети, так и самой пористой волокнистой структуры трикотажа. Уплотнение порошковых и волокнистых структур можно рассматривать с точки зрения теории контактных явлений, рассматривая его в связи с процессом консолидации отдельных частиц грунта и структурных элементов (волокон) трикотажа. В результате образуется геокомпозит с регулярной неоднородностью. Усилие уплотнения сыпучей и волокнистой среды  $P_n$  определяется силами сжатия от давления верхней части грунта  $P_G$  и силами реакции нити  $P_\tau$ , составляющей элемент петли и работающей аналогично подпорной стенке, которая создает боковое давление (рис. 1 – силы давления, действующие на элемент трикотажа, заполненный сыпучей средой: 1 – нить, 2 – сыпучая среда.).

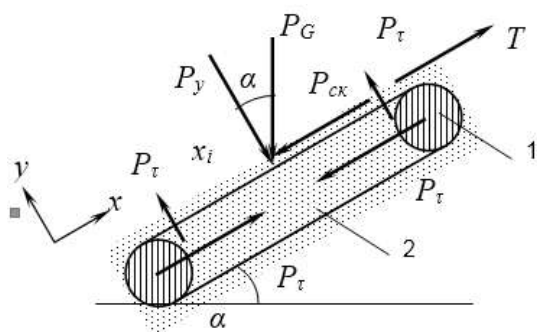


Рис. 1

Однако со стороны соседних ячеек действует такая же боковая сила, но в обратном направлении. Поскольку эти силы компенсируют друг друга, то происходит только сжатие волокнистого материала, при этом за счет увеличения сил трения в контактных точках текстильный материал становится прочнее. Единственной силой, создающей сколь-нибудь ощутимую деформацию геосетки, является скатывающая сила. Скатывающая сила  $P_{ск}$  оказывает равномерное давление на каждую нить, одновременно уплотняя сыпучую среду и скатывая весь геокомпозит вниз по склону. Причем в противоположную ей сторону действует сила поверхностного трения  $T$ . Очевидно, что

$$\begin{aligned} P_n &= P_G \cos \alpha, \\ P_{ск} &= P_G \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

В системе волокнистая структура – грунт решающее значение на уплотнение массива оказывает боковое сопротивление нитей, обусловленное их механическими свойствами, которое обуславливает возникновение сил внутреннего трения  $P_\tau$  в каждой ячейке сети. В теории прессования это сопротивление выражают через коэффициент бокового давления [1]:

$$K_\delta = \frac{\sigma_\delta}{\sigma_y} = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0}, \quad (2)$$

где  $\sigma_\delta$  и  $\sigma_y$  – боковое и осредненное напряжение прессования в сечении ячейки;  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона для грунтов: крупнообломочных – 0,27; песков и супесей – 0,30; суглинков – 0,35; глин – 0,42 (по СНиП 2.02.01–83 [3]).

Если рассматривать грунт как квазисплошную среду, то, принимая во внимание условие (2), можно выразить элементарную силу трения в сечении  $y_i$  следующим образом:

$$dP_\tau = \frac{4fK_\delta}{D} P_y dy, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент внешнего трения частиц грунта об ограничивающие ячейку нити;  $D$  – характерный размер ячейки (эквивалентный диаметр).

Усилие прессования с учетом силы трения  $P_{\tau,y}$  в сечении  $y_i$  будет:

$$P_y = P_n - P_{\tau,y} = \sigma_y \frac{\pi D^2}{4}. \quad (4)$$

Решая уравнение (3) с учетом (4) и принимая во внимание, что в предельном случае  $u$  равен глубине заложения  $H$ , запишем:

$$\sigma_y = \sigma_n e^{\frac{-4fk_0 H}{D}}, \quad (5)$$

$$P_{\tau} = P_n \left( 1 - e^{\frac{-4fk_0 H}{D}} \right). \quad (6)$$

Можно отметить, что внутренние силы трения в системе волокнистая структура – грунт увеличиваются с возрастанием нормального давления, зависящего от толщины слоя грунта в геокомпозите, с увеличением коэффициента трения грунта о нить и с уменьшением размера ячейки (до определенного предела, в котором частицы грунта можно считать изотропной сыпучей средой, а не конечным набором твердых тел). Силы трения играют большую роль в уплотнении сыпучего материала. Поэтому трикотаж из грубой льносодержащей пряжи с размером ячейки около 15...20 мм более предпочтителен, чем геосинтетик с крупной ячейкой из гладких нитей.

Деформация грунта внутри ячейки  $\varepsilon_{y,i}$  составит:

$$\varepsilon_{y,i} = \frac{\sigma_y}{E} \left( 1 - \frac{2\mu_0^2}{1 - \mu_0} \right), \quad (7)$$

где  $E$  – модуль упругости.

При этом происходит уплотнение и уменьшение пористости грунта, что позволяет лучше противостоять эрозии. Коэффициент пористости грунта изменится на величину:

$$\Delta e_i = (1 - e_0) \varepsilon_{y,i}, \quad (8)$$

где  $e_0$  – начальный коэффициент пористости грунта.

Сопротивление сдвигу можно определять по известной формуле [2]:

$$\tau_{np} = \sigma_n \operatorname{tg} \phi + c = \sigma' \operatorname{tg} \phi, \quad (9)$$

где  $\tau_{np}$  – удельное сопротивление сдвигу,  $\nu$  – угол внутреннего трения, увеличивающийся по мере увлажнения грунта: у песка – от 1,5 до 2°, у глины – от 1,6 до 2,2°, у почвенного слоя 1,2...1,6°;  $c$  – удельное сцепление, выраженное в МПа, у идеально сыпучих тел  $c=0$ ;  $\sigma' = \sigma_0 + \sigma_n$  – приведенное нормальное давление с учетом давления связности, обусловленного силами сцепления:  $\sigma_0 = c / \operatorname{tg} \phi$ .

Учитывая, что у несвязанного грунта (песок, влажная глина) значение удельного сцепления близко к 0, а связность грунта определяется силами трения частиц грунта о нити геосетки, можно считать, что

$$\sigma_0 = \frac{P_{\tau}}{F}, \quad (10)$$

где  $F$  – внешняя поверхность нитей геосетки, контактирующей с поверхностью грунта.

Определить значение  $F$  можно, рассчитав длину нити  $L$  в элементе трикотажа:

$$F = L \pi \frac{d^2}{4} k, \quad (11)$$

где  $d$  – диаметр нити с учетом сжатия;  $k$  – коэффициент, учитывающий долю общей площади нити, контактирующей с грунтом.  $L$  и  $k$  определяются по образцам [3] соглас-

но геометрической модели трикотажа (рис. 2 – геометрическая модель сетеполотна с мелкими сотообразными ячейками). Структурные и весовые характеристики экспериментальных льносодержащих геополотен, полученных на основовязальной машине ОВ-160, представлены в табл. 1.

№	Характеристика	Образец 1 (плотный)	Образец 2 (редкий)
1	Линейная плотность нитей, текс	63,7	63,7
2	Длина нитей в петле $l_{cp}$ , мм	30,48	21,43
3	Диаметр нити $d$ , мм	0,48	0,34
4	Вертикальный шаг ячеей $t_v$ , мм	16,18	20,59
5	Горизонтальный шаг ячеей $t_r$ , мм	8,78	14,14
6	Расход нитей на образование одной ячеей $L_{я}$ , мм	182,88	171,44
7	Масса нитей на образование одной ячеей полотна $M_{я}$ , г	0,023	0,011
8	Поверхностная плотность $\rho_s$ , г/м <sup>2</sup>	351,6	198,7
9	Толщина полотен $M$ , мм	0,58	0,27

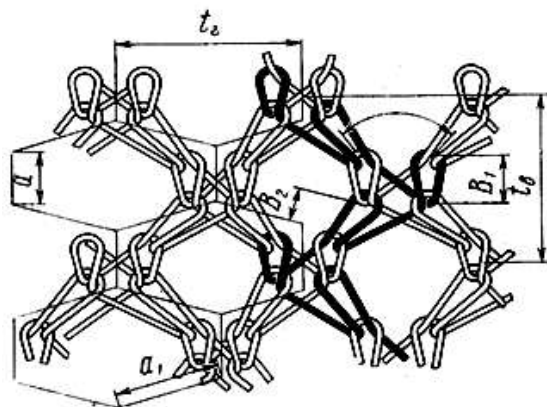


Рис. 2

Таким образом, сопротивление сдвига связанного геосеткой грунта увеличивается пропорционально фрикционным свойствам трикотажного полотна, которые определяются структурой и сырьевым составом и могут быть количественно определены.

В некоторых случаях (крутой склон, переувлажненный грунт) возможна ситуация, при которой может быть скатывание всего геоконструкта. По мнению авторов, эта ситуация маловероятна, поскольку в большинстве случаев склон не представляет собой идеальную наклонную плоскость, а глубина заложения непостоянна ввиду ручной укладки и засыпки. Геоматериал в этом случае изогнут, что создает дополнительное сопротивление сдвигу. Но чаще всего на крутых склонах верхняя часть геосетки фиксируется с основанием анкерами, что исключает сползание. В этом случае сдвиг геоматериала определяется

прочностью полотна по отношению к растягивающим усилиям, но она во всех случаях значительно больше скатывающей силы.

## ВЫВОДЫ

1. Упрочняющий эффект геоматериала при поверхностном армировании и сопротивление сдвигу на склоне определяются внутренними силами трения в системе волокнистая структура – грунт, которые зависят от нормального давления грунта, фрикционных и структурных свойств геополотна.

2. Основовязанный трикотаж из грубой льносодержащей пряжи с размером ячейки 15...20 мм способен эффективно защитить грунт на склоне от осыпания и эрозии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шайморданов Л.Г. Статистическая механика деформирования волокнистых нетканых пористых тел. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1989.
2. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977.
3. Землякова И.В., Каминская Л.А. Неразрушающий метод определения длины нити в петле трикотажного полотна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №4. С.113...116.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 03.06.14.