

УДК 677.075:625.877

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ
ТРИКОТАЖНЫХ ГЕОПОЛОТЕН**

**THE PREDICTION OF THE WARP-KNITTED GEOTEXTILES
MAIN PROPERTIES**

Г.В. БАШКОВА, А.П. БАШКОВ, Д.А. АЛЕШИНА, С.В. СОКОЛОВА
G.V. BASHKOVA, A.P. BASHKOV, D.A. ALYESHINA, S.V. SOKOLOVA

(Ивановская государственная текстильная академия)
(Ivanovo State Textile Academy)
E-mail: milena55@yandex.ru

В статье обосновывается применение трикотажных геополотен сетчатой структуры из льносодержащей пряжи для предотвращения поверхностной эрозии почвы сложных рельефов при ландшафтном дизайне и землеустройстве. Кроме этого, предлагается метод расчета давления грунта на элементы трикотажного геополотна по аналогии с вогнутой подпорной стенкой. Метод позволяет проектировать механические свойства полотна в зависимости от его геометрических характеристик, плотности грунта и крутизны склона.

The article substantiates the use of warp-knitted mesh structures geotextiles from the flax yarn for prevention of surface soil erosion complex relief and slope. In addition, we propose a method of calculating the pressure of the soil to the elements of knitted geotextiles by analogy with the concave a retaining wall. Method allows predicting mechanical properties of knitted fabrics depending on the geometric characteristics, the density of the soil and slope.

Ключевые слова: поверхностная эрозия, льняные трикотажные геополотна, давление сползающего грунта, проектирование механических свойств.

Key-words: surface erosion, flax warp-knitted geotextiles, slip soil pressure, mechanical properties prediction.

Геоматериалы используются давно, но только в последнее время специалисты обратили внимание на такую область их применения, как ландшафтный дизайн при

устройстве парков, пляжей, спортплощадок, защита от поверхностной эрозии почв на склонах. Для насыпей дорог, в основном, применяются геосетки, получаемые

из перфорированных синтетических полимеров. Геосинтетики обладают хорошими механическими свойствами, однако после образования дернового слоя и естественного укрепления почвы остаются в ней практически навсегда, являясь помехой для локальной экосистемы. В последнее десятилетие активизировались разработки и производство геотекстильных полотен из натуральных волокон (возобновляемого ресурса), которые безопасны для окружающей среды и со временем подвергаются полному биоразложению. Их биоостатки способствуют росту растений, что необходимо для полного закрепления грунта. Льносодержащая пряжа, применяемая для таких полотен, обладает достаточно хорошими механическими свойствами, которые практически не ухудшаются в мокром состоянии, и надежным сцеплением с частицами грунта. Кроме этого, хорошая гигроскопичность обеспечивает своеобразный дренаж переувлажненной почвы. Трикотажный способ позволяет производить ячеистые полотна разнообразных структур с высокой производительностью. Трикотажное полотно из натурального волокнистого сырья эластично, при укладке точно повторяет форму микрорельефа местности, надежно захватывая и фиксируя мельчайшие частицы грунта, не требует заглубления в грунт. Таким образом, трикотажные сетчатые геополотна справляются с защитой почвы от поверхностной эрозии, то есть предотвращают механическое перемещение частиц грунта при сползании по склону, при воздействии ветра, дождевых капель, потоков воды. Однако анализ сил при взаимодействии текстильного геополотна, уложенного на грунт без его заглубления, с сыпучим телом в механике грунтов практически не проводился.

Поэтому целью данного исследования стало определение параметров моделирования системы сетка – грунт, где авторами выделены следующие процессы:

- фиксация частиц грунта силами трения о нити при сползании за счет сил тяжести;
- фиксация при движении частиц грунта за счет аэродинамической силы при

воздействии ветра, в обоих случаях, как в сухом, так и в переувлажненном состоянии;

- фиксация при кинетическом воздействии дождевой капли;
- фиксация при переносе частиц потоками воды.

Во всех перечисленных случаях необходимо учитывать дополнительную ситуацию, при которой заклинивание в ячейках сетки крупных частиц создает дополнительный эффект фиксации для мелких частиц, при этом создаются подпорные микростенки и микроплотины, распределяющие равномерно нагрузки на грунт и сетку и разделяющие потоки воды на микроструи. Результатом такого моделирования должно стать обоснование структуры полотна, в частности, размеров и периодичности ячеек, необходимых фрикционных свойств полотна и нитей, механических и гигроскопических свойства полотна. Размер ячейки должен быть достаточным для прорастания травянистых стеблей при образовании дерна, для размещения в ней такого количества частиц грунта, при котором происходит фиксация нити и уменьшение ее зажимной длины при растяжении под нагрузкой, фиксация самих частиц при взаимном трении и трении о нить. В то же время слишком большая ячейка не создаст условий для многочисленных контактов между нитями и частицами грунта, не защитит эти частицы от напора ветра и водяных потоков, от ударов дождевых капель, а разреженная (открытая) текстильная структура, хоть и дешевле, но меньше по прочности. Большое влияние на фиксацию грунта оказывает также линейная плотность и структура нити. Толстая, рыхлая и ворсистая нить создаст условия для проникновения в тело пряжи острых кромок частиц грунта и их заклинивания между геосеткой и грунтом, а также для лучшего дренажа и фильтрации влаги. Фильтрационные процессы, как известно [1], способствуют уплотнению грунта. Льняная пряжа с вложением отходов как раз соответствует этим требованиям.

Для определения перечисленных показателей необходимо выявить усилие, воз-

никающее при взаимодействии частиц грунта с нитями. Для этого можно представить эти частицы в виде простейших геометрических фигур, кубов или шаров, что соответствует действительности для большинства мелкообломочных грунтов (песков, супесей), характерных для европейской территории России. При этом размер частицы колеблется в пределах от 0,25 до 2 мм в поперечнике. Активное давление сыпучего тела (грунта) на элемент трикотажного полотна можно определить, используя метод В.В. Соколовского. Пусть в пределах одного элемента трикотажа (дуги петли) 1 радиусом R заключен элементарный объем грунта на склоне в виде цилиндра 2 (рис. 1 – схема для определения сил давления со стороны грунта на элемент трикотажа).

В предельном состоянии часть грунта начнет сползать по плоскости среза S , наклоненной к горизонту под углом θ , при

этом на единицу длины элемента трикотажа со стороны грунта будет действовать сила Q под углом ϕ к нормали поверхности контакта (для упрощения рассуждений можно считать угол ϕ равным углу склона насыпи). В этом случае можно записать следующее выражение [2], [3].

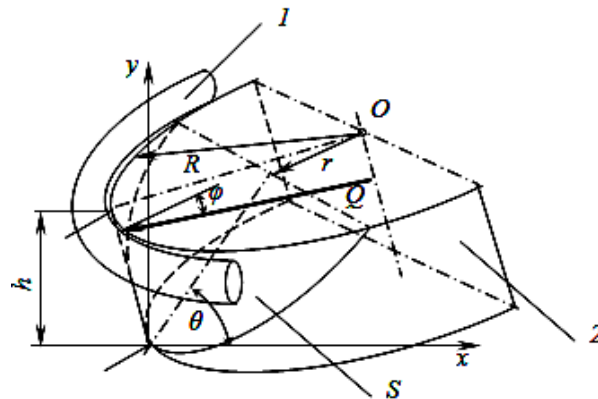


Рис. 1

$$Q = G \tan(\theta - \phi) = \frac{\gamma h^2}{2} \left(1 - \frac{h}{3R} \cot \theta \right) \cot \theta \cdot \tan(\theta - \phi), \quad (1)$$

где G – масса сыпучего тела; h – высота подпорной стенки, образованной заглубленным в грунт элементом трикотажа, равная примерно толщине трикотажа со слоем присыпки.

После дифференцирования выражения (1) и приравнивания производной нулю можно получить угол θ , соответствующий максимальной силе Q , то есть

$$\frac{h}{R} = 3 \frac{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \phi)}{\sin 2\theta - 2 \sin 2(\theta - \phi)} \tan \theta. \quad (2)$$

Дифференцирование выражения (1) по $y = h$ позволяет найти давление на элемент трикотажа на глубине y :

$$q_y = \frac{\gamma}{2} \frac{\tan(\theta - \phi)}{\tan \theta} \left(2 - \frac{y}{R \tan \theta} \right). \quad (3)$$

В большинстве структур трикотажа внутренняя плоскость сползания запол-

няющего ячейку сыпучего тела не пересекает центральной оси, поскольку там находится дуговой элемент следующего ряда, то есть соблюдается условие $h/R \leq \tan \theta$. Предельные значения h/R можно получить из формулы (2), приравняв $(h/R)_{пр} = \tan \theta_{пр}$. Для $\phi = 25 \dots 45^\circ$ они будут в пределах от 3,73 до 3,8.

Давление на дуговой элемент вызывает растягивающее усилие в нити на участке от точки фиксации с соседним элементом до наиболее выступающей точки, то есть на полудуге петли. Будем считать это усилие равным $P_i = Q_i \ell_i$, где ℓ – длина петельной дуги. Для определения необходимой прочности нити необходимо соблюдать условие $P_p \geq P_i \cdot k$, где k – коэффициент запаса, определяющий растяжение нити в условиях упругой деформации и учитывающий влияние зажимной длины, которая не превышает ℓ .



Рис. 2

Например, для экспериментального филейного льняного основовязаного полотна (рис. 2) с размерами ячейки $5,0 \times 10,5$ мм (то есть $R = 5,0$ мм), $h = 15$ мм, $\varphi = 40^\circ$, угол θ , рассчитанный по формуле (2), будет равен 65° . В свою очередь, давление Q при плотности супесчаного грунта 17 кН/м^3 согласно (1) будет $0,00022 \text{ Н/м}$. Растягивающее усилие на участок нити в петельной дуге длиной $8,5$ мм составит не более $1,9 \text{ Н}$. Разрывная нагрузка льняной пряжи $63,7$ текс, используемой для производства анализируемого полотна, составляет $6,4 \text{ Н}$, что значительно превышает максимальные нагрузки от давления грунта. Общее растягивающее усилие на полотно можно определить, суммируя усилия в каждой ячейке. Будем считать их одинаковыми. При числе ячеек 20 на погонный метр полотна общее усилие составит $1,9 \times 20 = 38 \text{ Н}$. При испытаниях относительная разрывная нагрузка для полоски образца шириной 5 см составила $116,2 \text{ Н/м}$. Рабочая нагрузка от давления грунта находится в области упругих деформаций [4].

Кроме этого, перемещение подпорной стенки (в виде полупетли трикотажа), вызванное растяжением пряжи и трикотажной структуры, согласно положениям механики сыпучих сред несколько снизит общее давление сползающего грунта.

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика расчета давления грунта на элементы трикотажного геополотна, которая позволяет проектировать его механические свойства в зависимости от плотности грунта и крутизны склона.

2. Экспериментальный основовязанный трикотаж из льняной пряжи с размером ячейки $5 \times 10,5$ мм пригоден для использования в качестве геосетки, предотвращающей поверхностную эрозию почвы на склоне с углом до 40° .

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цытович Н.А.* Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963.
2. *Соколовский В.В.* Статика сыпучей среды. – М.: Гос. изд-во физико-матем. литературы, 1960.
3. *Киселев А.М., Соркин А.П., Киселев М.В.* Прогнозирование разрывной нагрузки нетканых материалов на основе математического моделирования их геометрической структуры // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С. 14...17.
4. *Башкова Г.В., Чистобородов Г.И., Башков А.П., Алешина Д.А., Натертышев И.Ю.* Анизотропия структуры и свойств ниточных наполнителей композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 7. С. 80...84.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 07.06.13.