

ГЕОТЕКСТИЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Пшеничникова Е. С.,
канд. техн. наук, ведущий научный
сотрудник ЦНИИС, г. Москва

Аннотация. Статья о применении пространственных геотекстильных конструкций в дорожном строительстве и берегоукреплении, при строительстве линейных объектов на слабых основаниях (болотах I-II типов) и укреплении откосов и склонов, как составляющая в противозерозионных сооружениях. Применение геосинтетиков способствует снижению индустриального влияния природных ресурсов в промышленности и гражданском строительстве, а это — экологичность.

Ключевые слова: геосинтетика, земляное полотно, подпорная стена, линейные сооружения, многосекционная геооболочка.

Abstract. The article "Geotextile carcasses for construction of earthworks" considers technologies and application experience of gecontainers. It introduces analysis of geosynthetic materials adoption in comparison with traditional construction technologies. The article generalizes advantages and efficiency factors of gecontainers applying. It shows calculation methods of geomembrane stiffness and deflection of soil layer when using.

Keywords: geosynthetics, earth bed, supporting wall, line structures, multicell geomembrane.

В 80-е гг. XX в. для дорожных насыпей, сооружаемых на слабых грунтах, была рекомендована конструкция «насыпь в обойме или полуобойме», представляющая собой слой грунта, оборачиваемый нетканым геотекстилем в процессе сооружения насыпи. Слой грунта в обойме из геотекстиля мог работать на изгиб, снижалось влияние неравномерности осадки основания. Прочность сооружения таким образом повышалась, однако у конструкции были существенные недо-

статки: нетканый геотекстиль вследствие низкой прочности растягивался и рвался, полотнища материала требовалось сшивать при помощи паяльной лампы, что снижало скорость строительства.

Тогда возникла идея: сшить контейнер из ткани, обладающей высокой прочностью на разрыв, заполнить его тем или иным сыпучим материалом и собирать из таких контейнеров конструкцию.



Рис. 1. Заполнение геоконтейнеров ГеоБ3Г при помощи загрузочного бункера



Рис. 2. Погрузка заполненных контейнеров в автосамосвал

Разработанные таким образом контейнеры нашли широкое применение в строительстве. Помимо дорожных насыпей, они стали использоваться при сооружении подпорных стен, промышленных площадок, а также в различных гидротехнических сооружениях. Контейнеры, заполненные грунтом, перераспределяют неравномерные деформации основания, не разрушаясь при этом, благодаря чему могут быть рекомендованы к использованию в районах с сейсмической активностью.

В 2012 г. геоконтейнеры были использованы для укрепления берега р. Малый Сулак в Хасавюртском районе Дагестана. Река Малый Сулак — приток р. Сулак — из года в год размывает берег, при этом происходит разрушение откосов насыпи автомобильной дороги, проходящей вдоль берега. Район относится к сейсмоопасным (сейсмичность 8 баллов).

На горных реках с высокой скоростью течения для укрепления берегов в последнее время применяют габионы, которые более эффективны, чем те или иные бетонные изделия: меньше трудозатрат при сооружении конструкции и дольше срок службы. Грунтовые контейнеры оказались дешевле габионов, поскольку меньше трудозатрат при монтаже, а для заполнения может быть использован дешевый местный мелкозернистый материал. Кроме того, в сейсмоопасных районах, где следует ожидать колебания основания и его перемещения, целесообразно использовать гибкие конструкции, мало чувствительные к деформациям оснований. По этой причине для проведения берегоукрепительных работ были использованы геоконтейнеры двухсекционные, размером 3,0×1,5×1,0 м.

Контейнеры заполняли при помощи загрузочного бункера (рис. 1) местным грунтом. Для перемещения контейнеров и монтажа были использованы автотележка, автосамосвалы, автомобильные краны (рис. 2). Контейнеры укладывали без каких-либо подготовительных работ, без планировки основания, схема укладки определялась на месте.

В процессе монтажа контейнеры связывали между собой монтажными петлями и лентами, образуя единую конструкцию (рис. 3). Было уложено около 70 контейнеров в 6 рядов.

Результаты осмотра конструкции, выполненные после года эксплуатации, показали следующее:

1. целостность ткани, из которой изготовлены геооболочки, а также монтажных элементов — лент, не была нарушена;
2. перемещений контейнеров относительно друг друга не наблюдалось.
3. при весеннем половодье местоположение конструкции не нарушено.
4. в результате половодья произошло вымывание глинистых частиц через стенки контейнеров, в результате чего общая высота конструкции незначительно уменьшилась по высоте.

Открытая многосекционная геооболочка с дном была использована при сооружении подпорных стен в г. Находка Приморского края.

70% территории Приморского края покрыто обособленными возвышенностями (сопками), склоны которых в черте города используют под застройку, для чего в скальном грунте сопкок устраивают полки. В условиях стесненной застройки для использования откосной части сопкок в полном объеме было принято решение о строительстве армогрунтовой подпорной стены с применением многосекционной геооболочки с дном. По поверхности подпорной стены планируется проложить автомобильную дорогу.



Рис. 3. Монтаж конструкции укрепления берега



Рис. 4. Заполнение геооболочек ГеоФРАМ грунтом

Геооболочки растягивали на каркасе и заполняли грунтом (рис. 4). Монтаж геооболочек был выполнен в 4 ряда по вертикали. Каждый последующий ряд устраивали со смещением относительно нижнего на 0,3 м (рис. 5).

На поверхности сооруженной таким образом подпорной стены устроили выравнивающий слой грунта (рис. 6), который будет служить нижним слоем основания дорожной одежды.

После завершения осадки грунта в геооболочках будет построена дорожная одежда — верхней слой основания и асфальтобетонного покрытия. По бровке будет установлено барьерное ограждение.

В 2011 г. Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) на кафедре Инженерной геологии и геотехники под руководством проф. Доброва Э. М. была выполнена исследовательская работа, цель которой состояла в оценке эффективности применения геооболочки в земляных сооружениях. Для этого были аналитически определены жесткость и прогиб геооболочки с наполнителем не больших размеров, с высотой стенки



Рис. 5. Общий вид сооружения

30 см, размером ячеек 30x30 см (рис. 7), а также жесткость и прогиб слоя грунта тех же размеров, что был помещен в секции геоблочки. В качестве заполнителя ячеек был использован песок с влажностью $W=20\%$ и плотностью $\gamma=1,6 \text{ т/м}^3$. Модуль деформации песка $E_{гр} = 300 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент поперечной деформации $\mu = 0,28$. Ширина расчетной полосы геоблочки, и, соответственно, расчетного слоя грунта $b = 100 \text{ см}$.

Жесткость на изгиб грунтовой прослойки $(EJ)_{гр}$ может быть определена по формуле:

$$(EJ)_{гр} = E_{гр} \frac{bh^3}{12} = 300 \frac{100 \cdot 30^3}{12} = 67500000 \text{ кгс} \cdot \text{см}^2, \quad (1)$$

Жесткость геоблочки при изгибе на единицу ширины D может быть определена как жесткость составного пакета из двух слоев по формуле:

$$D = D_{дн.} + D_{геоб.} + B_{дн.} (h/2)^2, \quad (2)$$

где $D_{дн.}$ — жесткость при изгибе днища геоблочки; $B_{дн.}$ — жесткость при растяжении (сжатии) днища геоблочки; $D_{геоб.}$ — жесткость при изгибе слоя геоблочки с заполнителем.

$$D_{дн.} = \frac{E_{дн.} \cdot \delta_{дн.}^3}{12(1-\mu^2)} + \frac{E_{дн.} \cdot \delta_{дн.} \cdot h^2}{4} = \frac{150 \cdot 3^3}{12(1-0,4^2)} + \frac{150 \cdot 3 \cdot 30^2}{4} = 10125 \text{ кгс/см}^2, \quad (3)$$

где $E_{дн.}$ — модуль деформаций полимерных материалов днища, $E = 150 \text{ кгс/см}$; μ — коэффициент поперечной деформации полимерных материалов, из которых изготовлена геоблочка, $\mu = 0,4$.

$$B_{дн.} = \frac{E_{дн.} \cdot \delta_{дн.}}{1-\mu^2} = \frac{150 \cdot 0,3}{1-0,4^2} = 53,57 \text{ кгс/см}^2, \quad (4)$$

жесткость при растяжении (сжатии) днища геоблочки равна:

$$B_{расч} = B \cdot b = 53,57 \cdot 100 = 5357 \text{ кгс/см},$$

$$D_{геоб.} = \frac{E_0(h_1^3 + h_2^3)}{3(1-\mu^2)} = \frac{357(15^3 + 15^3)}{3(1-0,4^2)} \cdot 2 \cdot 100 = 189642857 \text{ кгс/см}^2, \quad (5)$$

$$D_{расч} = 10125 \cdot 100 = 1012500 \text{ кгс/см}^2$$

где E_0 — модуль деформаций стенок геоблочки перед наступлением потери устойчивости, $E_0 = 357 \text{ кгс/см}^2$; h_1 — высота над нейтральной осью, h_2 — высота под центральной осью.

В формуле (5) рассматривается жесткость многосекционной геоблочки при наличии в ней только продольных ребер, а не замкнутых ячеек. С учетом ячеек необходимо полученную жесткость $D_{геоб.}$ умножить на 2 и на расчетную ширину полосы:

$$D = 1012500 + 189642857 + 5357 \cdot (30/2)^2 = 191860754 \text{ кгс/см}^2.$$

Отношение жесткостей многосекционной геоблочки толщиной 30 см и грунтовой прослойки той же толщины составляет:

$$\frac{(EJ)_{геоб.}}{(EJ)_{гр}} = \frac{191860754}{67500000} = 2,84.$$

Следовательно, жесткость геоблочки с заполнителем в 2,84 выше жесткости грунтовой прослойки той же толщины.

Прогиб геоблочки, уложенной на грунт и воспринимающей сосредоточенную нагрузку, может быть определен по формуле:

$$W_{геоб.} = \frac{b^2 \cdot 5P_0 b m_1}{8D \cdot 48} = \frac{100^2 \cdot 5 \cdot 5000 \cdot 100 \cdot 1}{8191860754 \cdot 48} = 0,34 \text{ см}, \quad (6)$$

где P_0 — сосредоточенная нагрузка — 5000 (нагрузка от колеса), кгс; D — жесткость геоблочки, кгс/см²; m_1 — ко-



Рис. 6. Устройство выравнивающего слоя на поверхности подпорной стенки



Рис. 7. Геоблочка с заполнителем

эффициент, учитывающий условия закрепления геоблочки по краям, в рассматриваемой задаче $m_1 = 1$.

Прогиб слоя грунта толщиной 30 см, неармированного многосекционной геоблочкой, определяем по формуле (10):

$$W_{гр} = \frac{Pb^3}{48(EJ)_{гр}} = \frac{5000 \cdot 100^3}{48 \cdot 67500000} = 1,54, \quad (7)$$

$$\frac{W_{гр}}{W_{геоб.}} = \frac{1,54}{0,34} = 4,52$$

Следовательно, при применении многосекционной геоблочки прогиб слоя грунта уменьшается в 4,52 раза.

Общие выводы

1. Обследование конструкции берегоукрепления в Дагестане показало, что прочность геоконтейнеров отвечает предъявляемым к ним требованиям. Стенки геоконтейнеров выдержали нагрузку расположенной над ними верхней части сооружения (рис. 5), а также удары льдин и проплывающих предметов во время половодья.

2. Геоконтейнеры и многосекционные геоблочки следует применять в конструкциях земляных сооружений при строительстве в сложных условиях: на слабых грунтах, на подтапливаемых и затопливаемых участках, в районах с сейсмической активностью.

3. Для успешного использования геоблочек необходимо грамотное проектирование. Ясно, что при отсутствии выполненных должным образом проектных работ все преимущества предлагаемых материалов и технологии могут быть сведены на нет.

Так, конструкция берегоукрепления в Дагестане по существу служит подпорной стенкой, удерживающей откос, близкий к вертикальному (рис. 3). В этом случае на сооружение действуют другие нагрузки (не только водная, но и отпор грунта откоса), следовательно, должны быть выполнены соответствующие расчеты (на сдвиг, на опрокидывание). Перемещение конструкции в сторону реки может происходить из-за сдвигающей силы со стороны откоса.

4. Должны быть регламентированы требования к грунтам, заполняющим геоконтейнеры и геоблочки, в зависимости от условий применения. Использование местных грунтов может существенно снизить стоимость строительства. Так, при сооружении массивных не подтапливаемых подпорных стен и высоких насыпей в той их части, которая не подвержена промерзанию, для заполнения контейнеров могут быть использованы глинистые, в том числе пучиноопасные грунты. Глинистые грунты могут быть также использованы при строительстве временных дорог с покрытием переходного типа. При использовании геоконтейнеров в насыпях автомобильных дорог с покрытием капитального типа должен быть осуществлен контроль плотности грунта в контейнере, дорожную одежду следует устраивать только при достижении требуемой плотности грунта.

В гидротехнических сооружениях заполнитель не должен вымываться через стенки геоконтейнера.

Разработка нормативных документов, регламентирующих применение геоконтейнеров и геоблочек, позволит повысить эффективность их использования в строительстве.

5. Расчет жесткости и прогиба многосекционной геоблочки с заполнителем, выполненный под руководством проф. Э. М. Доброва, показал, что при армировании многосекционной геоблочкой прогиб слоя грунта уменьшается в 4,52 раза, что подтверждает целесообразность применения многосекционной геоблочки при строительстве дорог на слабых грунтах.

Полученный расчет может быть использован в проектных работах. Наличие расчетных методов позволит ускорить процесс внедрения данной конструкции в практику строительства.

Литература:

1. Львович Ю. М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. М.: Информавтодор, 2002.
2. Устьян Н. А. Опыт комбинированного применения геосинтетических материалов при строительстве транспортных сооружений. Мир дорог, 2010, № 48.
3. Устьян Н. А., Смелов Е. А. Геоконтейнеры и их применение в строительстве. Гидротехника, 2011, № 3(24).