

## Расчетные модели для обоснования применения геокомпозиционных систем при организации противоэрозионной защиты на объектах гражданского строительства

*П.А. Слепнев*

*Национальный исследовательский московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Развитие, освоение и реорганизация территорий под объекты гражданского строительства нередко связано с проблемами контроля и защиты от эрозионных процессов. Территории, ранее считавшиеся неудобными, сейчас подлежат интенсивному освоению. Инвестиционная привлекательность таких территорий очень высока, поэтому необходимо выполнять мероприятия по инженерной подготовке, в том числе и для защиты ее от эрозионных процессов. Как показывают исследования, наиболее дружественными окружающей среде конструкциями по предотвращению эрозионных процессов являются геокомпозиционные системы, создаваемые на основе противоэрозионных геосинтетических материалов. Но, прежде чем применять какие-либо мероприятия по стабилизации эрозионных процессов, необходимо понять процесс взаимодействия применяемых методов с защищаемыми поверхностями. В статье рассмотрено зонирование береговых откосов, как наиболее уязвимых для воздействия эрозии территорий в городах, на неподтопляемую, частично подтопляемую и постоянно затопленную зоны. Соответственно, данное разделение выполнено с целью определения возможных воздействий на конструкции геокомпозиционных систем. Каждое воздействие (гидравлическое, снеговое, ледовое) описано с использованием математического моделирования с указанием методов расчета устойчивости геокомпозиционной системы для зон определенных в исследовании. Установлено, что прочность геокомпозиционной системы также оказывает влияние на ее устойчивость, поэтому при определении общей устойчивости геокомпозиционной системы введено понятие ее прочности на растяжений. Представленные материалы имеют важное значение при практическом применении. Это обусловлено сокращением материальных и трудовых затрат на реализацию мероприятий противоэрозионной защиты при применении результатов данного исследования. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию конструкции противоэрозионной защиты на основе геокомпозиционных систем с целью организации их поточного производства и создание типовых промышленных образцов.

**Ключевые слова:** противоэрозионная защита, геокомпозиционные системы, неудобные территории, зонирование, математическое моделирование, устойчивость геокомпозиционных систем.

Проблема противоэрозионной защиты не нова. Для городской среды эта проблема, как и другие экзогенные геологические процессы, создают неудобства при освоении территорий.

В настоящее время города развиваются за счет использования ранее неудобных территорий, которые были сложны в освоении. Территории, подверженные эрозионным процессам ранее не рассматривались как потенциально пригодные для застройки. Большинство таких территорий отдавалось под благоустройство, парки, рекреационные зоны, т.е. те территории, которые не требовали значительных капитальных вложений для их освоения и не оказывали особого влияния на безопасность, ввиду отсутствия капитальных сооружений. Территории, подверженные эрозионным процессам, имеют очень высокую инвестиционную привлекательность, т.к. расположены, как правило, на берегах водных объектов.

В данном исследовании в качестве противоэрозионной защиты рассматриваются геокомпозиционные системы, разработанные на основе геосинтетических противоэрозионных матов, которые создают надежную защиту грунтовых поверхностей от эрозионных процессов.

Эрозионные процессы определяются составом грунтов, уклонами земной поверхности, высотой и экспозицией склонов [1]. Учитывая, что эрозия - склоновый процесс, помимо основной задачи - противоэрозионной защиты, необходимо обеспечить устойчивость на склоне применяемых материалов, т.к. в случае локального или полного разрушения применяемых методов эффективность снижается до минимума. Соответственно, обеспечение устойчивости противоэрозионной защиты на склоне является необходимым условием ее надежного функционирования.

Данную проблему в своих работах решали Алексеев А.А. [2], Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. [3], Мирцхулава Ц.Е., Сметанин В.И. [4], Щербина Е.В. [5] и другие авторы.

Создание проектов защиты берегов и решение проблемы обеспечения экологической безопасности береговой зоны невозможны без учета факторов

---

и процессов, определяющих состояние берегов. Возникает необходимость в построении математических моделей [6]. Рассматривая процесс развития эрозионных процессов на склонах и берегах водных объектов города, можно выделить три основных зоны, на которых эрозия имеет различные источники возникновения: не затапливаемая зона, зона переменного уровня воды, и зона, постоянно находящаяся под водой [7,8].

В первой зоне – эрозия обуславливается только поверхностным стоком, во второй зоне эрозия – процесс, происходящий под воздействием как поверхностного стока, так и волнового воздействия, и в третьей зоне – эрозия является уже русловым процессом.

Учитывая, что на каждую зону защищаемого берегового откоса оказывается различное воздействие, следовательно, и расчетные схемы по обеспечению устойчивости защитного экрана в каждой зоне будут различными.

Для первой зоны, где наличие воды обусловлено лишь поверхностным стоком, который образуется в результате выпадения осадков можно принять расчетную схему, разработанную Алексеевым А.А. [2]:

Устойчивость системы, расчетная схема которой представлена на рис. 1, будет обеспечена, в случае выполнения следующего условия:

$$\sum F_{y\partial} = \sum F_{c\partial} k_{st}, \quad (1)$$

где  $\sum F_{y\partial}$  – сумма удерживающих сил, кН;  $\sum F_{c\partial}$  – сумма сдвигающих сил, кН;  $k_{st}$  – коэффициент запаса

В данном случае основным сдвигающим усилием будет, давления собственного веса наполнителя геокomпозиционной системы:

$$\sum F_{c\partial} = F_{ce}, \quad (2)$$

$$F_{ce} = G_i \sin \alpha, \quad (3)$$

где  $G_i$  – вес секции геокomпозиционной системы, кН/м;  $\alpha$  – угол заложения откоса, град.

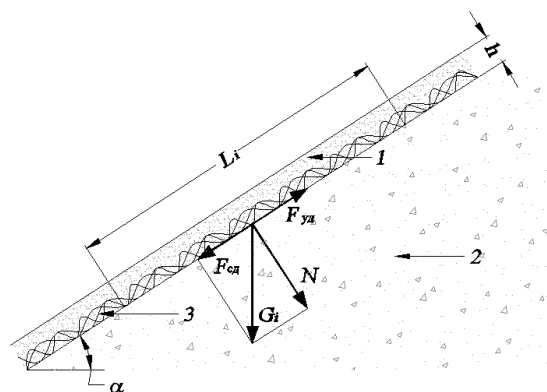


Рис. 1 Расчетная схема устойчивости геокomпозиционной системы на склонах зоны 1 (1 - почвенно-растительный слой; 2 - грунт основания; 3 - противоэрозионный геомат).

Обязательно следует учесть нагрузку от снегового покрова, соответственно собственный вес секции геокomпозиционной системы  $G_i$  с учетом снеговой нагрузки можно вычислить по следующей зависимости:

$$G_i = (\gamma_n h_n + \gamma_{сн} h_{сн}) L_i, \quad (4)$$

где  $\gamma_n$  – удельный вес наполнителя геокomпозиционной системы ( $\text{кН/м}^3$ ) в данном случае удельным весом противоэрозионного мата можно пренебречь, ввиду того, что он не значителен по сравнению с удельным весом наполнителя;  $\gamma_{сн}$  – удельный вес снежного покрова ( $\text{кН/м}^3$ );  $h_n$  – толщина геокomпозиционной системы (м);  $h_{сн}$  – мощность снежного покрова (м).

При использовании в качестве инженерной защиты противоэрозионных матов при расчете удерживающих усилий необходимо принимать во внимание прочность геосинтетического материала на растяжение  $P$ , ( $\text{кН/м}$ ) [9,10]:

$$\sum F_{уд} = F_{тр} + F_{ад} + \frac{P}{k_3}, \quad (5)$$

где  $F_{тр}$  – сила трения на контакте геомат – основание,  $\text{кН}$ ;  $F_{ад}$  – адгезия между геоматом и грунтом основания,  $\text{кН}$ ;  $k_3$  – коэффициент запаса прочности при растяжении для геосинтетического материала.

Данные расчеты справедливы для элементарных отрезков склона. Для определения устойчивости геокomпозиционной системы на всей длине склона, необходимо рассчитать шаг ее закрепления анкерами  $L_3$  [11], который можно оценить, основываясь на формулах (1), (2) и (6):

$$L_3 = \frac{P}{k_3(F_{cd}k_{st} - F_{yd})}, \quad (6)$$

Как показывает опытное применение, значение шага  $L_3$ , как правило, практически всегда превышает технологический шаг крепления геокomпозиционной системы, предназначенный для обеспечения плотного прилегания ее к поверхности склона.

Расчет устойчивости геокomпозиционной системы для второй зоны (рис. 2), где воздействие воды имеет временный характер, должен включать дополнительные нагрузки: в теплый период - от наката волн, в холодный период - при температурном расширении льда [7,8].

В целом расчет аналогичен приведенному выше, за исключением значений сдвигающего и удерживающего усилий.

Удерживающее усилие  $\mathcal{L}F_{yd}$  в данном случае останется неизменным и будет такое же как в (5).

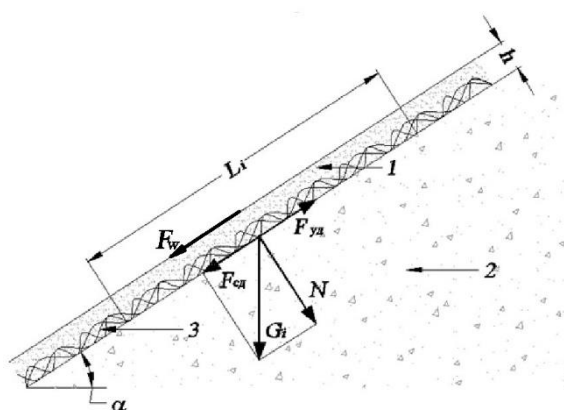


Рис. 2 Расчетная схема устойчивости геокomпозиционной системы на склонах зоны 2 в летний период (1 - почвенно-растительный слой; 2 - грунт основания; 3 - противозерозионный геомат).

В летний период сдвигающее усилие будет равно:

$$\sum F_{cd} = F_{cv} + F_w, \quad (7)$$

где  $F_{cv}$  – то же что и в (3);  $F_w$  – сила от гидравлического действия наката волн.

В зимний период на сооружение действует линейная нагрузка  $F_l$ , от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении (рис. 3) [7], при этом сдвигающее усилие определяется по формуле:

$$\sum F_{cd} = F_{cv} - F_l \quad (8)$$

где  $F_{cv}$  – то же что и в (3);  $F_w$  – сила воздействия ледяного покрова.

Таким образом, при определении устойчивости геокomпозиционной системы во второй зоне необходимо выбирать по принципу суперпозиции наихудшее условие в летний или зимний периоды.

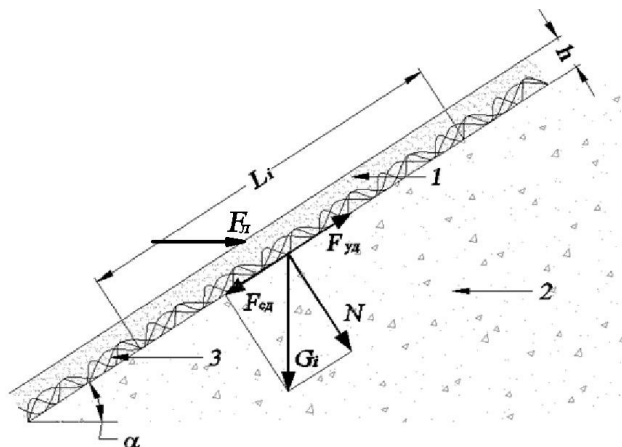


Рис. 3 Расчетная схема устойчивости геокomпозиционной системы на склонах зоны 2 в зимний период (1 - почвенно-растительный слой; 2 - грунт основания; 3 - противозерозионный геомат).

В третьей зоне вся геокomпозиционная система находится под водой, при этом сдвигающее и удерживающее усилия рассчитываются по формулам (2) и (5) соответственно, но необходимо учитывать изменение веса секции, причиной чего является взвешивающее действие воды.

### Выводы

Таким образом, несмотря на то, что откос, защищаемый от развития эрозионных процессов, непрерывен по всей длине, необходимо учитывать разные воздействия и, соответственно, проводить несколько расчетов

устойчивости при рассмотрении геокомпозиционных систем как основных методов противозерозионной защиты. Расчетная схема будет зависеть от зоны откоса, участвующей в рассмотрении устойчивости геокомпозиционной системы. Для каждой зоны характерны различные воздействия, от которых и зависит расчетная схема: для первой зоны – это поверхностный сток и снеговая нагрузка, для второй – волновая и ледовая нагрузка, для третьей – взвешивающее действие воды.

### Литература

1. Гридневский А.В. Оценка геологических опасностей и рисков Восточно-Донбасской агломерации// Инженерный вестник Дона. 2013. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1947](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1947)
2. Алексеев А.А. Геоэкологическая эффективность применения геокомпозиционных экранов при восстановлении ландшафтов, нарушенных горнодобывающей деятельностью: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.36. – М., 2005. - 24 с.
3. Беркович К.М., Р.С. Чалов, А.В. Чернов Экологическое русловедение. — М.: ГЕОС, 2000. - 332 с.
4. Сметанин В.И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель. - М.: Колос, 2000. – 96 с.
5. Теличенко В.И., Потапов А.Д., Щербина Е.В. Надежное и эффективное строительство на техногенно-загрязненных территориях // ПГС. 1997. №8. с. 5 – 12
6. Проценко Е.А. Двумерная конечно-разностная модель формирования наносов в прибрежной зоне водоема и ее программная реализация//Инженерный вестник Дона. 2010. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/224](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/224)

7. Слепнев П.А. Оптимизация конструкции инженерной защиты берегов водных объектов (на примере прудов г. Москвы): автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.36. – М., 2008. - 24 с.
8. Володина Л.А., Слепнев П.А. Совершенствование технологии мониторинга городских территорий, подверженных опасным экзогенным геологическим процессам//Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сб. трудов Международ. научн. конф. – М.: МГСУ, 2011, с. 397 - 399
9. Савин Д.С. Экологическая реабилитация долин малых рек г. Москвы (на примере рек Сетунь и Химка): автореф. дис. канд. геогр. наук: 25.00.36. – М., 2004. - 24 с.
10. Puig J., Schaeffner M. The use of three dimensional geotextile to combat rainwater erosion. Third International Conference on Geotextiles. Vienna, Austria, 1986, p. 1137 - 1143
11. Rimoldi P., Ricciuti A. Design Method for Three-Dimensional Geocells on Slopes, Proceedings of the 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Singapore. 1994, p. 999 - 1002

### References

1. Gridnevskij A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1947](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1947)
  2. Alekseev A.A. Geojekologicheskaja jeffektivnost' primeneniya geokompozicionnyh jekranov pri vosstanovlenii landshaftov, narushennyh gornodobyvajushhej dejatel'nost'ju [Geoecological efficiency of the use of geocomposite screens in the restoration of landscapes disturbed by mining activities]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 25.00.36. М., 2005. 24 p.
  3. Berkovich K.M., R.S. Chalov, A.V. Chernov Jekologicheskoe ruslovedenie [Ecological channel science]. М.: GEOS, 2000. 332 p.
-



4. Smetanin V.I. Rekul'tivacija i obustrojstvo narushennyh zemel' [Reclamation and arrangement of disturbed lands]. M.: Kolos, 2000. 96 p.
5. Telichenko V.I., Potapov A.D., Sherbina E.V. PGS. 1997. №8. p. 5 - 12
6. Procenko E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2010. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/224](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/224)
7. Slepnev P.A. Optimizacija konstrukcii inzhenernoj zashhity beregov vodnyh ob'ektov (na primere prudov g. Moskvy) [Optimization of the design of engineering protection of the banks of water bodies (on the example of ponds in Moscow)]: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 25.00.36. M., 2008. 24 p.
8. Volodina L.A., Slepnev P.A. Integracija, partnerstvo i innovacii v stroitel'noj nauke i obrazovanii: sb. trudov Mezhdunarod. nauchn. konf. [Integration, partnership and innovation in building science and education: Sat. Proceedings of the International. scientific conf.] M.: MGSU, 2011, p. 397 - 399
9. Savin D.S., Jekologicheskaja rehabilitacija dolin malyh rek g. Moskvy (na primere rek Setun' i Himka) [Ecological rehabilitation of the valleys of small rivers in Moscow (on the example of the Setun and Khimka rivers)]: avtoref. dis. kand. geogr. nauk: 25.00.36. M., 2004. 24 p.
10. Puig J., Schaeffner M. Third International Conference on Geotextiles. Vienna, Austria, 1986, p. 1137 - 1143
11. Rimoldi P., Ricciuti A. Proceedings of the 5th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Singapore, 1994, p. 999 - 1002