

УДК 624.138.9

© А.Б. Пономарев, д-р техн. наук,  
профессор  
© Д.Г. Золотозубов, старший  
преподаватель  
(Пермский государственный технический  
университет)  
E-mail: spstf@pstu.ru

© A.B. Ponomarev, Dr. Sci. Tech., Professor  
© D.G. Zolotozubov, Senior teacher  
(Perm State Technical University)  
E-mail: spstf@pstu.ru

## **ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ АРМИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ОСНОВАНИЯ ПРИ ПРОВАЛАХ ГРУНТА**

### **EFFECT OF DEPTH LOCATION OF THE REINFORCING MATERIAL ON BEARING CAPACITY OF THE SOIL AT GROUND DOWNFALL**

Обрушения поверхности земли при образовании провалов представляют собой серьезную проблему как для освоения новых территорий карстоопасных районов, так и при эксплуатации существующих сооружений. Как показывает практика, провалы на земной поверхности могут возникать и в городских условиях. Примером могут служить провалы на городских улицах и дорогах, возникшие в результате размыва грунтового массива при прорыве различных трубопроводов. Наибольшие проблемы в этом случае возникают в связи с внезапным образованием таких провалов, что приводит к возникновению различных аварийных ситуаций, особенно связанных с транспортом.

В этих случаях армирование основания дороги может служить не только для повышения несущей способности оснований и снижения расходов на строительство вследствие уменьшения объема земляных работ, но и для предотвращения аварийных ситуаций.

Ранее нами были проведены численные эксперименты по моделированию поведения армированного основания дороги при обрушении грунта в глубине массива. Моделировалось действие динамической нагрузки, соответствующей прохождению над провалом

колес автомобиля [1]. Полученные при расчетах результаты качественно хорошо соотносились с экспериментальными исследованиями, проводившимися в Германии [3, 4].

В дальнейших численных экспериментах мы моделировали поведение грунтового основания при возникновении провалов с постоянной нагрузкой. При армировании грунтового основания геосинтетическими материалами на структурно-неустойчивых грунтах и территориях, с возможными обрушениями поверхности, необходимо выбрать оптимальные соотношения глубины заложения армирующих прослоек, количество прослоек и жесткость материала на разрыв с учетом физико-механических характеристик грунта в зоне армирования. В случае возникновения провала в глубине грунтового массива эти параметры необходимо соотнести с возникающим на поверхности диаметром провала.

Для оценки влияния этих параметров были проведены численные эксперименты. Одной из задач экспериментов было установление влияния глубины заложения армирующих слоев и их количества на осадки поверхности при возникновении провала. Расчеты проводились с помощью программы PLAXIS. Схемы экспериментов представлены на рисунках 1 и 2. Характеристики грунта менялись в зоне армирования.

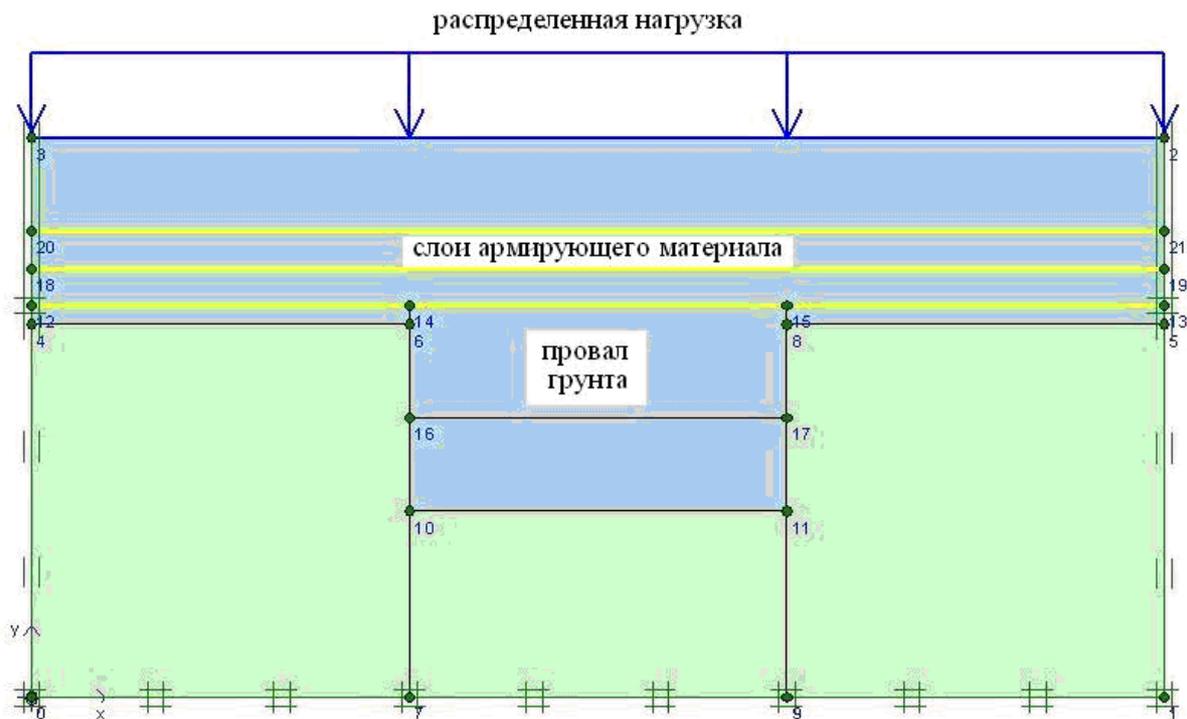


Рис. 1. Расчетная схема численного эксперимента при максимальной глубине заложения армирующих прослоек

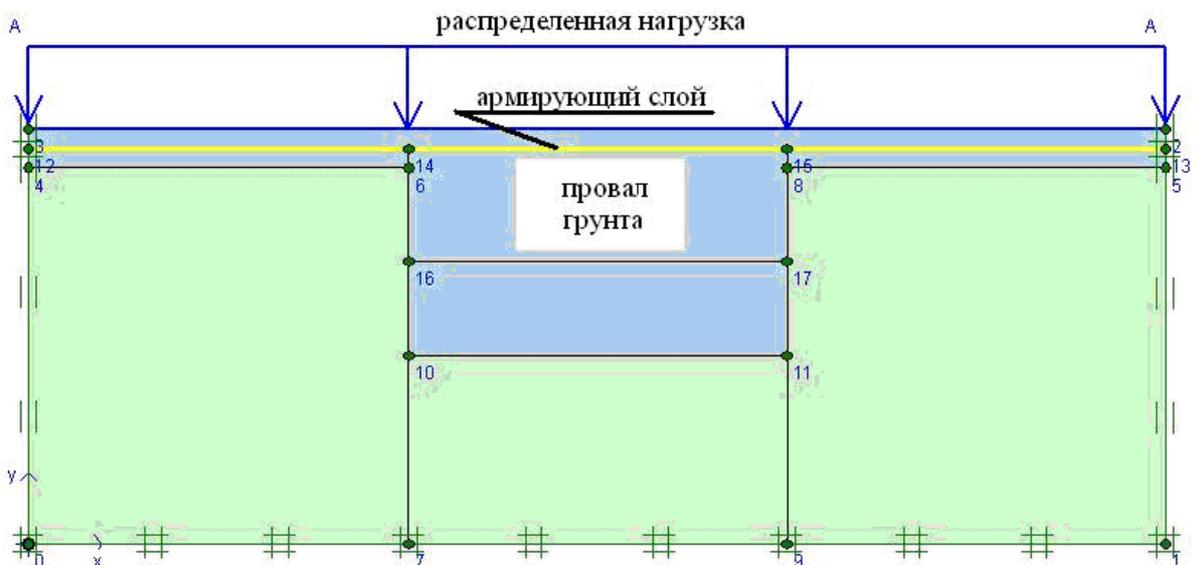


Рис. 2. Расчетная схема численного эксперимента при минимальной глубине заложения армирующих прослоек

Провал в глубине массива моделировался в жестком основании. Такая схема эксперимента была выбрана по следующим причинам:

1. В первоначальный период своего образования провал в грунтовом массиве представляет собой цилиндр и лишь постепенно происходит уплощение его склонов, в дальнейшем трансформирующееся в воронку (рис. 3) [2].

2. Соответствие модельным экспериментам, выполненным автором в Университете Анхальт, для сопоставления полученных результатов [3, 4].

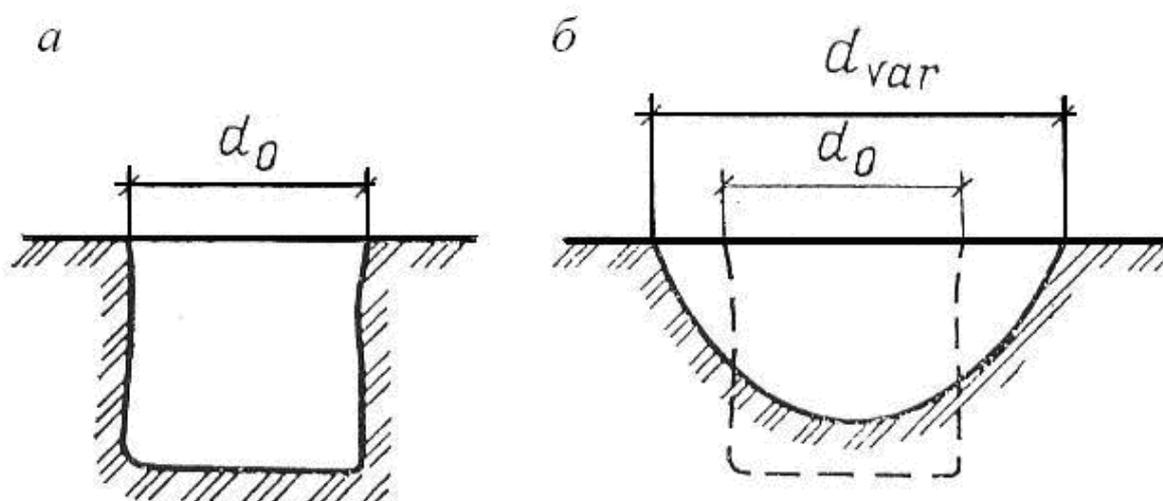


Рис. 3. Увеличение диаметра карстового провала: *a* – первоначальный; *б* – увеличенный за счет постепенного уполаживания склонов

При расчетах использовались 10 моделей грунтов, характеристики которых приведены в таблице. Характеристики подбирались таким образом, чтобы, соответствовать реальным грунтовым условиям Пермского края, включая насыпные грунты, с целью охватить весь возможный диапазон грунтов – от глинистых (связных) до песчаных (сыпучих). Коэффициент Пуассона  $\nu$  принимался равным 0,3-0,35 в зависимости от модели грунта.

Таблица  
Физико-механические характеристики моделей грунтов

№ модели грунта	$c$ , кПа	$\varphi$ , град	$E$ , МПа
1	0,1	38	30
2	1	35	38
3	2	43	50
4	5	30	30
5	12	30	40
6	15	30	25
7	18	33	28
8	25	10	20
9	30	1	20
10	38	1	30

Глубина заложения армирующих слоев изменялась от 0,1 до 1,0 м и моделировалась изменением толщины грунта над уровнем провала. Количество слоев армирования 1, 2, или 3. Нормальная жесткость на разрыв армирующего геосинтетического материала принималась равной 4000, 7000, 10000 кН/м при удлинении в 10 %. Все расчеты были разделены на два цикла: 1 – без полезной нагрузки, 2 – с нагрузкой по поверхности. Анализ первого цикла проведенных расчетов показал, что при возникновении провалов грунта для моделей грунтов №№ 1, 2, 3, 4, 5 расчеты по программе PLAXIS прерывались в связи с исчерпанием несущей способности грунтов («разрушением грунтового массива»). Для моделей грунтов №№ 6, 7, 8, 9, 10 несущая способность при отсутствии поверхностной нагрузки сохраняется, при этом надо отметить, что значение удельного сцепления для них составляет не менее 15 кПа. Для моделей грунтов №№ 6, 7, 8, 9, 10 по результатам расчетов наименьшая осадка поверхности грунта получилась при глубине заложения армирующих прослоек 1 м от поверхности при трехслойном армировании. Анализ полученных результатов показал, что разница при двух- и трехслойном армировании составляет всего 5-15%. Влияние нормальной жесткости на разрыв армирующего материала по результатам расчетов незначительна. При значениях 4000 и 7000 кН/м разница составляет около 15%, при значениях 7000 и 10000 кН/м – менее 5%. Наименьшую осадку поверхности грунта при всех вариантах расчетов без учета полезной нагрузки получили для моделей грунтов №№7 и 10 (рис. 4, 5).

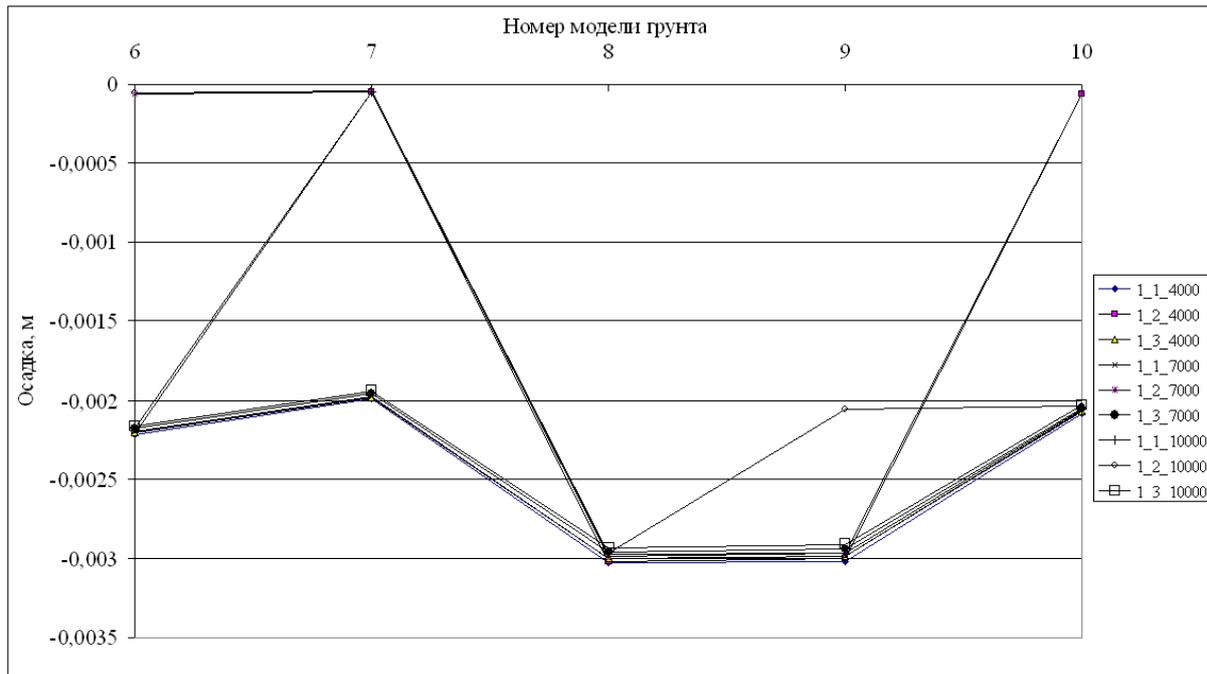


Рис. 4. Результаты расчетов по грунтам №№ 6, 7, 8, 9, 10 без нагрузки, на глубине заложения армирующих слоев 1 м (условные обозначения рядов: 1-ая цифра – глубина заложения, 2-ая – количество слоев армирования, 3-ья – нормальная жесткость геосинтетического материала)



Рис. 5. Изменение осадки поверхности при провале грунта при отсутствии полезной нагрузки в зависимости от глубины заложения армирующих прослоек на примере модели грунта №10; нормальная жесткость геосинтетического материала 7000 кН/м

При втором цикле численного эксперимента моделировалось поведение грунтового основания при приложении нагрузки до 100 кПа. Поверхностная нагрузка прикладывалась до возникновения провала в глубине массива. Расчеты проводились для моделей грунтов №№7 и 10, которые по результатам предыдущего цикла расчетов имели минимальную осадку поверхности.

Результаты проведенных по второму циклу расчетов показали, что для заданных условий во всех случаях происходит разрушение грунтового массива. Максимально достигнутая нагрузка при разрушении составила 37,5 кПа для грунта №10 при трехслойном армировании независимо от величины нормальной жесткости геосинтетического материала.

Проведенные численные эксперименты при отсутствии поверхностной нагрузки позволяют сделать следующие выводы:

1. При образовании провалов грунта наименьшую осадку поверхности имеют армированные грунтовые основания с удельным сцеплением  $c$  не менее 15 кПа.

2. Осадки поверхности грунта минимальны при заложении нижнего армирующего слоя на глубине 1,0 м и увеличиваются при уменьшении глубины заложения.

3. При трехслойном армировании основания осадки поверхности минимальны, однако разность величин осадок при использовании двух- и трехслойного армирования не превышает 15%, поэтому более целесообразно применять двухслойное армирование.

4. Нормальная жесткость на разрыв геосинтетического материала при значениях более 4000 кН/м оказывает меньшее влияние на несущую способность, чем глубина заложения и количество армирующих слоев. Подбор армирующего материала по этому параметру должен производиться исходя из конкретных инженерно-геологических условий площадки.

При наличии поверхностной нагрузки при возникновении провала происходит разрушение грунтового массива уже при давлении 30 кПа. Это значит, что армирование грунтового основания на карстоопасных территориях более всего оправдывает себя при строительстве автомобильных дорог [1, 3] и малонагруженных сооружений.

## Библиографический список

1. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Результаты экспериментальных исследований армированных оснований на карстоопасных территориях // Актуальные научно-технические проблемы современной геотехники: межвуз. сб. тр. Т.1 / СПбГАСУ. С-Пб., 2009. С. 65–70.
2. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / В.В. Толмачев, Г.М. Троицкий, В.П. Хоменко; Под ред. Е.А. Сорочана. – М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.
3. A.Paul. S.Schwerdt. Untersuchungen zur Ueberbrueckung von Tagesbruechen und Erdfaellen durch Einbau einer Einlagigen Geokunststoffbewehrung. – 7. Tagung ueber “Kunststoffe in der Geotechnik”, Muenchen, 2001.
4. S.Schwerdt. Untersuchungen zur Ableitung eines Bemessungsverfahrens fuer die Ueberbrueckung von Erdeinbruechen unter Verwendung von Geokunststoffbewehrungen. – Wissenschaftliche Schriftenreihe Geotechnik und Markscheidewesen. TU Claustahl, Hef 7, 2004.