

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПРОВАЛОВ НА КАРСТОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Наличие карстоопасных участков на территории Пермского края предъявляет особые требования при проектировании и строительстве фундаментов в таких местах. Предотвращение аварийных ситуаций (повышение безопасности и надежности) решается различными методами: уплотнением грунтов, закреплением грунтов и конструктивными методами.

К конструкционным методам относится, в частности, армирование грунта геосинтетическими материалами. Эти методы получили большое распространение за рубежом, а в последние годы и в России. Связано это с тем, что грунт является одним из самых дешевых и легкодоступных строительных материалов. А так как очень часто его механические свойства оставляют желать лучшего, то для увеличения прочностных и деформативных свойств грунтов применяется его армирование геосинтетическими материалами. За счет проявления армирующего эффекта армированный грунт способен уменьшать нормальные напряжения в грунтовой засыпке и деформации конструкции. Армированный грунт обладает такими характеристиками, которые делают его пригодным для возведения инженерных сооружений.

Армирование грунтов для предотвращения аварий при провалах грунта достаточно широко используется в Германии при строительстве дорог. В Университете прикладных наук Анхальт г.Дессау (Германия) проводились эксперименты с различными геосинтетическими материалами и разными вариантами армирования оснований дорог. Условия проведения эксперимента соответствовали принятым в Германии нормативам [2]. Результаты экспериментов доказали эффективность применения геосинтетических материалов при армировании основания дорожного полотна [3].

В рамках международного сотрудничества в одном из таких экспериментов принимал участие один из авторов этой статьи. Моделировалось поведение основания дорожного полотна при однослойном армировании при действии динамической нагрузки.

В результате проведенного эксперимента было установлено, что при использовании армирующей прослойки в грунтовом массиве произошло перераспределение напряжений [1]. В процессе нагружения напряженно-деформированное состояние грунтового массива изменялось. Во время проведения эксперимента фиксировались значения вертикальных напряжений (рис. 1): в начале эксперимента до образования провала они равномерно распределены; сразу после образования провала зафиксирована концентрация напряжений на краях провала и снижение напряжений над провалом; в конце эксперимента напряжения над провалом незначительно увеличиваются, над границей провала происходит рассеивание напряжений.

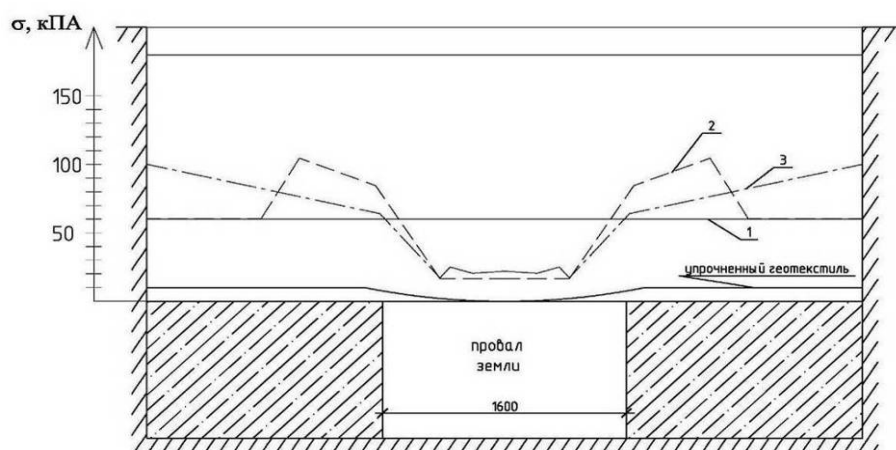


Рис. 1. Изменение вертикальных напряжений на контакте геотекстиля и грунта: 1 – до начала эксперимента; 2 – после обвала земли в начале динамических испытаний; 3 – в конце эксперимента

Растяжения геотекстильного материала и возникшие в них усилия не превысили предельных для примененного материала значений. Однако осадка поверхности (80 мм при максимальном диаметре провала на поверхности 2,2 м) превысила допустимые значения (1/100 от диаметра провала, или 22 мм), что и предсказывалось руководившими экспериментом немецкими коллегами на основании результатов ранее проведенных экспериментов. В предыдущих экспериментах осадки поверхности не превышали допустимых значений только при двухслойном армировании основания [3].

Физико-механические характеристики грунтов в Германии, разумеется, отличаются от грунтовых условий Пермского края. Но провести подобные эксперименты у нас на данный момент невозможно из-за отсутствия необходимого оборудования и финансовых средств. Поэтому, чтобы оценить, как поведут себя в наших условиях армированные основания, потребовалось провести численные эксперименты. Для сопоставления результатов нами были проведены расчеты с использованием программы PLAXIS. Сопоставление проводилось по осадке поверхности дорожного полотна. Также оценивались растяжения геотекстильного материала и напряженное состояние грунтового основания.

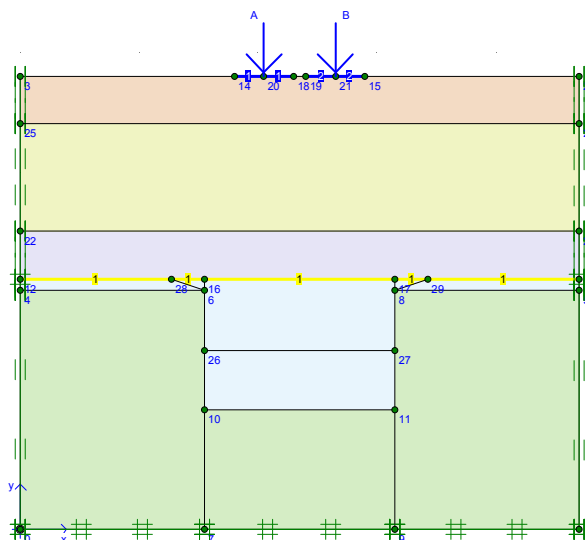
На первом этапе моделировались условия экспериментов, проведенных в Германии как для однослойного (рис. 2а), так и для двухслойного армирования (рис. 2б). Вертикальные стенки лотка ограничивают горизонтальное перемещение грунта, дно лотка ограничивает вертикальные и горизонтальные перемещения. Поверхность лотка имеет свободное перемещение в горизонтальном и вертикальном направлениях. Также был проведен расчет без армирования основания геосинтетикой. Характеристики грунтов:

- нижний толщиной 0,4 м, $E=46$ МПа, $c=18$ кПа, $\varphi=42^\circ$, $\gamma=19,5$ кН/м³;
- средний толщиной 0,9 м, $E=38$ МПа, $c=5$ кПа, $\varphi=35^\circ$, $\gamma=18,4$ кН/м³;
- верхний толщиной 0,4 м, $E=48$ МПа, $c=18$ кПа, $\varphi=43^\circ$, $\gamma=19,5$ кН/м³.

Максимальная нагрузка – 75 кПа. Жесткость геосинтетического материала на растяжение в продольном направлении – 4000 кПа/м, в поперечном – 500 кПа. При моделировании однослойного армирования слой геосинтетического

материала был ориентирован вдоль дорожного полотна, при моделировании двухслойного армирования верхний слой был ориентирован вдоль дорожного полотна, нижний – поперек.

а)



б)

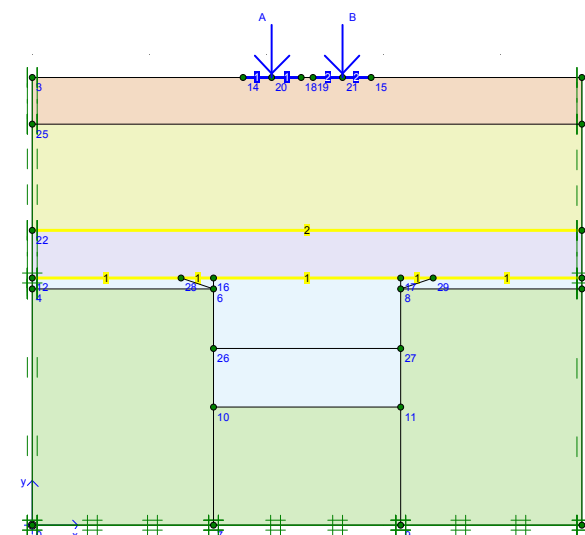


Рис.2. Расчетные схемы: а – однослойное армирование, б – двухслойное армирование

В результате проведенных расчетов было установлено, что осадка поверхности составила: при однослойном армировании – 29 мм, при двухслойном – 18 мм. При применении двухслойного армирования произошло уменьшение осадки на 37%.

При сравнении результатов численного и модельного экспериментов видно значительное расхождение количественных значений. По нашему мнению это связано с тем, что, во-первых, невозможно точно смоделировать в двумерной численной задаче трехмерный модельный эксперимент; во-вторых, в использованной нами программе сложно смоделировать длительное (около 300 000 циклов) динамическое нагружение – поэтому количество циклов нагружения было ограничено.

Качественная картина деформирования грунтового массива в обоих случаях схожа. При анализе результатов численного эксперимента было установлено, что в грунтовом массиве при наличии армирующего элемента имеют место эффекты, похожие на те, что наблюдались при модельных экспериментах в Германии. Например, образование несущего свода (арочный эффект) (рис. 3, 4), благодаря которому осадка поверхности значительно меньше, чем провал внутри грунтового массива.

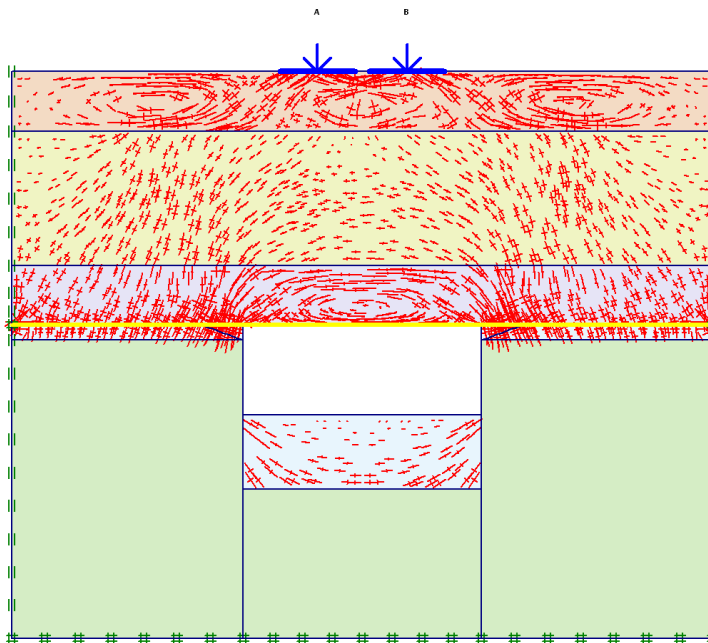


Рис. 3. Распределение напряжений в грунтовом массиве по данным численных расчетов

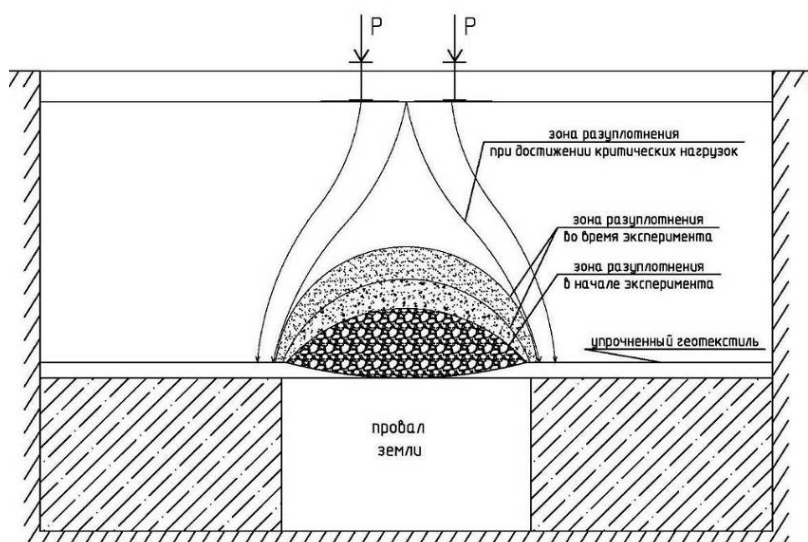


Рис. 4. Образование несущего свода при проведении модельного эксперимента

На следующем этапе были изменены характеристики грунтов на наиболее типичные для карстоопасных районов Пермского края. Схема использовалась такая же, как и в предыдущих расчетах. Характеристики грунта:

- нижний толщиной 0,4 м, $E=30$ МПа, $c=1$ кПа, $\varphi=38^\circ$, $\gamma=18,1$ кН/м³;
- средний толщиной 0,9 м, $E=8,4$ МПа, $c=17$ кПа, $\varphi=21^\circ$, $\gamma=18,5$ кН/м³;
- верхний толщиной 0,4 м, $E=30$ МПа, $c=1$ кПа, $\varphi=43^\circ$, $\gamma=18,1$ кН/м³.

В результате проведенных расчетов было установлено, что осадка поверхности составила: при однослойном армировании – 33 мм, при двухслойном – 19,5 мм. При применении двухслойного армирования произошло уменьшение осадки на 41%.

Результаты проведенных расчетов показывают, что применение двухслойного армирования оснований по сравнению с однослойным снижает осадки поверхности на 37-41%.

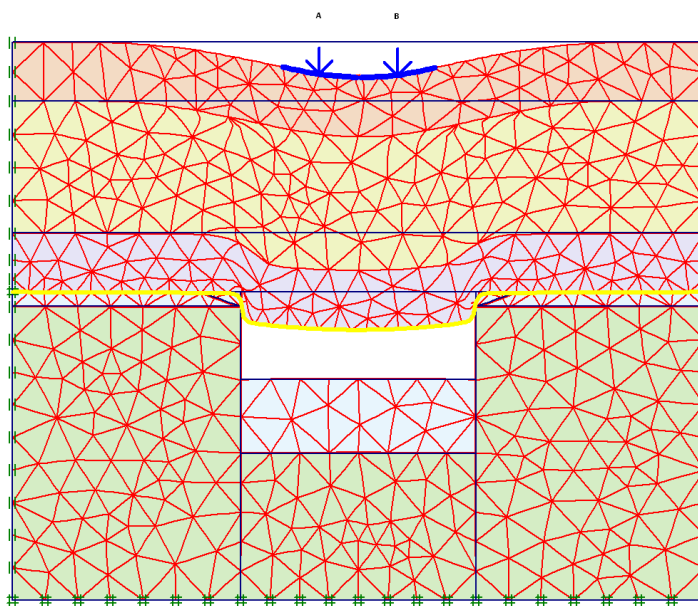


Рис. 5. Деформации грунтового массива при численных расчетах

При проведении численных расчетов при отсутствии армирования после образования провала программа прекращает расчеты из-за полного разрушения структуры грунта, то есть сразу происходит образование карстовой воронки.

При армировании грунта расчеты после образования провала продолжают, так как введение в расчет армирующего элемента предотвращает потерю устойчивости грунтового массива. Это одинаково верно как для грунтовых условий Германии, так и Пермского края.

Как показали проведенные эксперименты при армировании грунта осадки поверхности происходят значительно медленнее, чем образование провала внутри грунтового массива. В реальных условиях при проведении постоянного мониторинга состояния оснований на карстоопасных территориях такие провалы могут быть своевременно выявлены и приняты меры по устранению их последствий.

Данные экспериментальных исследований и проведенных численных экспериментов позволяют сделать вывод о том, что применение геосинтетических материалов в качестве армирующей прослойки позволяет повысить безопасность эксплуатации оснований в случае возникновения провалов грунта.

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-Петербург, 2009, С. 65–70.
2. DIN 1072 Strassen- und Wegbruecken; Lastannahmen.
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.