

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСИЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА МАЛОДЕФОРМИРУЕМЫМ СЛОЕМ

В роботі представлено результати порівняльного аналізу варіантів підсилення земляного полотна малодеформівним шаром.

*Ключові слова:* земляне полотно, малодеформівний шар, порівняльний аналіз варіантів підсилення

В работе представлены результаты сравнительного анализа вариантов усиления земляного полотна малодеформируемым слоем.

*Ключевые слова:* земляное полотно, малодеформируемый слой, сравнительный анализ вариантов усиления

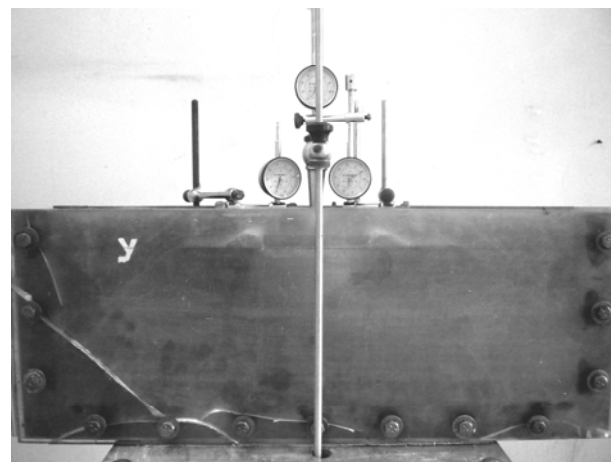
In the article the results of comparative analysis of variants of strengthening the ground bed by the small-deformable layer are presented.

*Keywords:* ground bed, small-deformable layer, comparative analysis of variants of strengthening

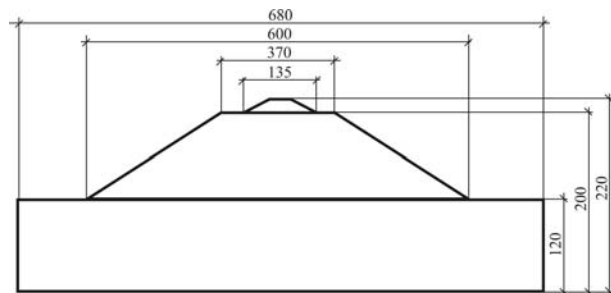
Существующие технологии усиления земляного полотна подразделяются на те, которые базируются на изменении физико-механических свойств грунта (усиления малодеформируемыми слоями), и на те, которые базируются на внедрении арматуры в грунтовую матрицу (армогрунты с различными типами арматуры) [1, 2]. Аналитические исследования параметров усиления земляного полотна как малодеформируемыми слоями, так и армирования геосинтетическими материалами составляют значительный объем исследований в этой области [1–3].

Однако, проанализированные случаи усиления земляного полотна, например, в работе [1], вызывают значительные вопросы с позиции их практического применения, хотя, без сомнений, имеют важнейшее теоретическое значение. На сегодняшний момент наибольшее распространение и некоторое научное обоснование получили именно те два направления технологий, которые были упомянуты [4, 5]. Это связано с тем, что для использования вариантов усиления или с помощью слоя усиления, или с помощью геосинтетических материалов, разработаны и проверены на практике алгоритмы технологических операций. Соответственно, для этих направлений, которые являются тенденциями усиления земляного полотна на сегодняшнее время, следует провести ряд исследований, которые должны выполняться для того, чтобы выяснить какой вариант усиления является наиболее оптимальным. Эта задача является актуальной с такой позиции еще и потому, что влияние малодеформируемых слоев не является однозначным и известным.

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований и анализ их результатов при усилении земляного полотна малодеформируемым слоем. Для этого было проведено несколько серий экспериментальных исследований в лотке (рис. 1, а) модели в масштабе 1:20 (рис. 1, б).



а)



б)

Рис. 1. Общий вид лотка (а) и основные размеры модели (б)

Было проведено несколько серий испытаний моделей, с выяснением особенностей их деформирования в зависимости от характера уси-

ления малодеформируемым слоем, который был выполнен из смеси щебня с суглинком в пропорции 70 % к 30 % (рис. 2).

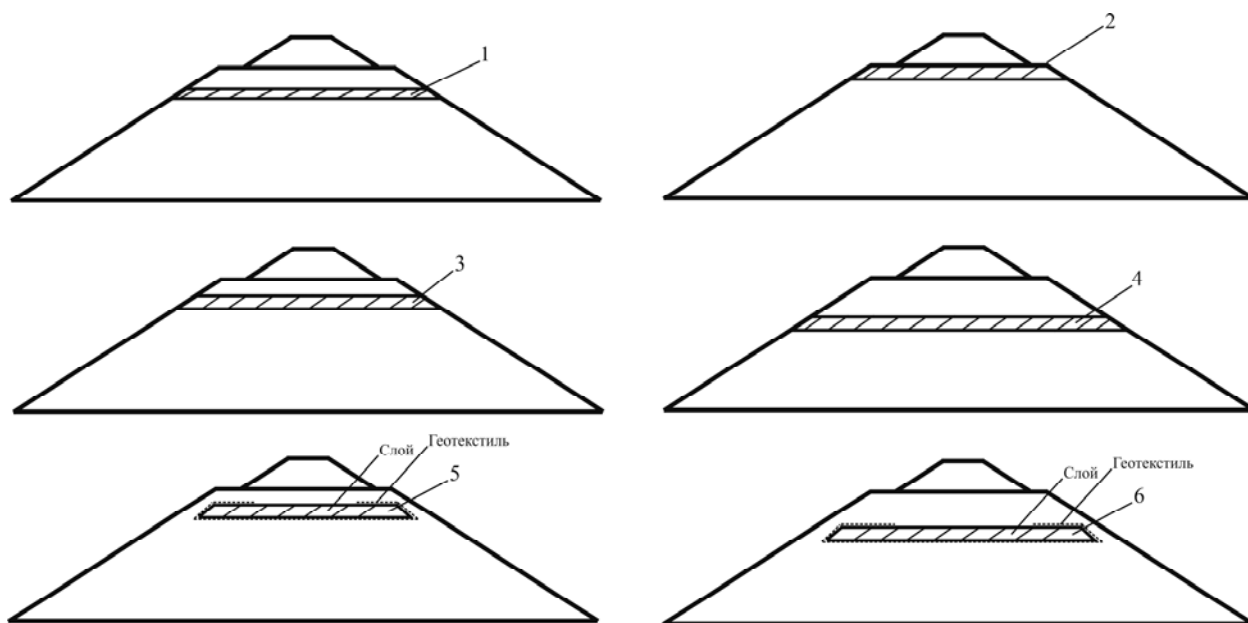


Рис. 2. Варианты усиления модели малодеформируемым слоем

Технологически модели (рис. 2) были исполнены в следующем виде:

- вариант 0 является вариантом без усиления;
- 1 вариант – слой толщиной 1 см на глубине 2 см от основной площадки;
- 2 вариант – слой толщиной 2 см на глубине 0 см от основной площадки (непосредственно под балластом);
- 3 вариант – слой толщиной 2 см на глубине 2 см от основной площадки;
- 4 вариант – слой толщиной 2 см на глубине 4 см от основной площадки;
- 5 вариант (комбинированный) – слой толщиной 2 см на глубине 2 см от основной площадки, обёрнутый полотном геотекстиля;
- 6 вариант (комбинированный) – слой толщиной 2 см на глубине 4 см от основной площадки, обёрнутый полотном геотекстиля.

Основная модель земляного полотна была создана из суглинка путём послойного уплотнения с внедрением в грунтовую матрицу слоя усиления, а также в виде полотен геотекстиля для комбинированных моделей. В верхней части модели формировалась балластная призма из мелкоизмельченного щебня. Плотность, влажность и деформационные характеристики моделей в различных сериях испытаний сохранялись идентичными, что дало возможность сравнения НДС моделей различных вариантов армирования.

Загружение моделей производилось рычажной системой с плечом рычага 1:10 до тех пор, пока не происходило их разрушение. Нагрузка передавалась на штамп площадью 155,3 см<sup>2</sup>. В процессе загрузки моделей контролировался уровень как абсолютных перемещений с помощью индикаторов часового типа с точностью измерений 0,01 мм, так и относительных деформаций, которые вычислялись путём деления перемещений к первоначальной высоте земляного полотна модели (200 мм).

Характерным деформированием неармированных моделей (Вариант 0) является случай сжатия с выпором, который наблюдается по искривлению сетки 2×2 см, начерченной на передней стороне модели (рис. 3).

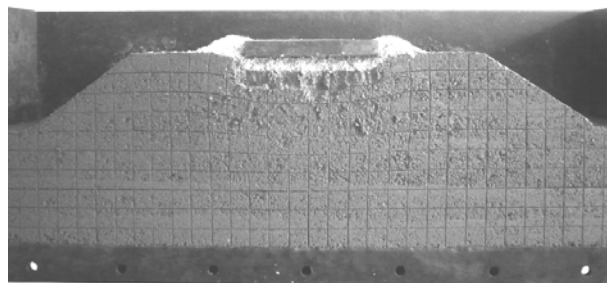


Рис. 3. Вид модели (Вариант 0) после эксперимента

Усиление модели по Варианту 1 несколько улучшило картину деформирования (рис. 4), однако, незначительно, что объясняется недостаточной толщиной малодеформируемого слоя

(1 см в модели и, соответственно, 0,2 м в натуре). Его геометрические параметры еще не позволяют уменьшить вертикальные перемещения, но всё же, по сравнению с неармирован-

ном вариантом, их затухание является значительным, что свидетельствует о том, что внедрение такого слоя влияет положительно.

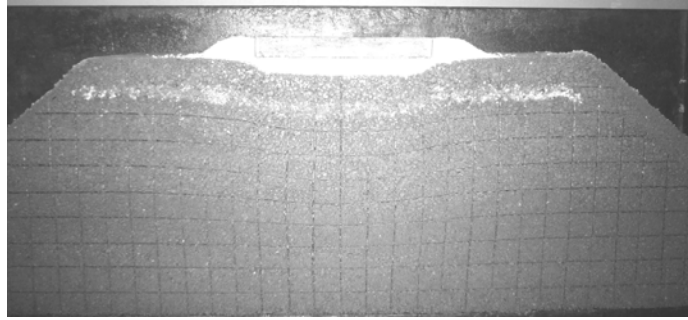


Рис. 4. Вид модели (Вариант 1) после эксперимента

Увеличив толщину малодеформируемого слоя до 2 см (0,4 м в натуре) было проведено исследование не только его положительного влияния на уменьшение вертикальных деформаций, но и также влияние его расположения по высоте на этот процесс. Для этого Варианты 3, 4 и 5 рассмотрены в комплексе (рис. 5–7).

Как установлено, что качественно влияние положения слоя на изменение вертикальных перемещений не отмечалось; кроме того, из анализа общего деформирования для всех вариантов можно сделать вывод и о том, что количественные изменения такого варьирования высоты также не отмечаются.

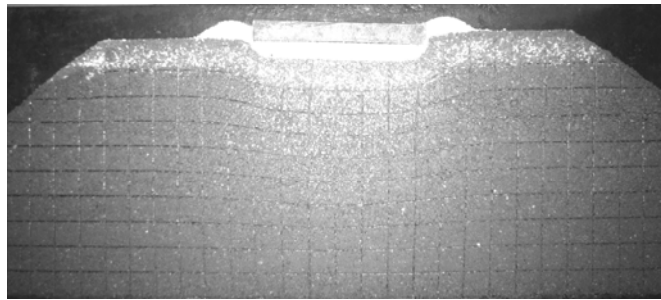


Рис. 5. Вид модели (Вариант 2) после эксперимента

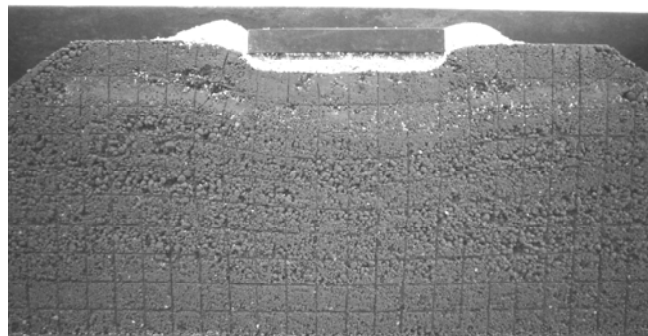


Рис. 6. Вид модели (Вариант 3) после эксперимента

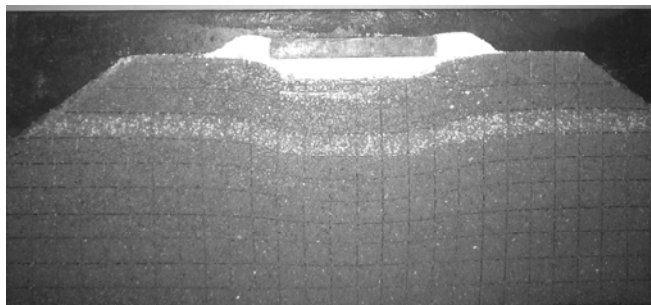


Рис. 7. Вид модели (Вариант 4) после эксперимента

Следует отметить, что при рассмотрении случая армирования земляного полотна геосинтетическими материалами и случая его усиления малодеформируемым слоем сложилась методология сводить их влияние к изменению одного и того же параметра [1]. Таким параметром является некий коэффициент, связывающий напряжения и относительные деформации, который при упругом деформировании называется модулем упругости или модулем Юнга. В случае деформирования усиленного земляного полотна его использование также удобно, но приводит к тому, что методологию исследований рассматривается с позиций феноменологического подхода. Это заключается в том, что природа уменьшения деформаций в обоих случаях не исследуется, а важным является лишь тот факт, что и геосинтетические материалы, и малодеформируемый слой положительно влияют на изменение вертикальных деформаций. Соответственно, отыскание некоего коэффициента, связывающего напряжения и деформации (далее – интегральный модуль деформации), достаточно полно описывает количественные изменения. Необходимо также отметить, что применение феноменологического подхода уменьшает возможность отыскания наиболее оптимального варианта усиления, т.к. отсутствие исследования природы влияния тех или иных усиливающих элементов, не позволяет их научно обосновать.

Такую проблему, сложившуюся в исследованиях усиленного или армированного земляного полотна, можно решить, дополнив феноменологический подход конкретными исследованиями влияния усиливающих элементов.

Из проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что малодеформируемый слой и внедрённая в грунтовую матрицу арматура в виде гетекстиля или геосетки, кардинально по-разному влияют на напряжённо-деформированное состояние (НДС) земляного полотна, хотя интегрально их влияние заключается в уменьшении его деформаций. Важность определения указанных причин заключается в том, что, исследовав особенности каждого из способов усиления или армирования, можно сочетать наиболее сильно влияющие на деформирование земляного полотна и создать их комбинацию.

Вместе с тем, следует четко разграничивать влияние малодеформируемого слоя и геосинтетических материалов. Из проведенных исследований по первому случаю, можно сделать вывод, что малодеформируемый слой по при-

чине повышения модуля деформации (парциальный модуль деформации) снижает деформации системы вообще, увеличивая её деформационные свойства (интегральный модуль деформации). Однако, такое увеличение происходит лишь в слое и в некоторой его окрестности и базируется лишь на повышении деформационных свойств, но не коэффициента трения, удельного сцепления и так далее. Такой слой деформируется вместе с матрицей, в которую внедрён, таким образом, что никаких расслоений, трещин и нарушений сплошности модели не наблюдается, в отличие от случая армирования геотекстилем. В этом заключается положительный эффект влияния такого слоя.

В отличие от внедрения слоев, внедрение геотекстильных материалов иногда приводит к эффектам деформирования, связанными с тем, что деформационные свойства матрицы и арматуры значительно отличаются. Внедрённая арматура в виде полотна гетекстиля или геосетки создаёт внутри земляного полотна дополнительную конструкцию, в которой возникает собственное НДС, влияющее на общее НДС системы «матрица – арматура». Собственное НДС арматуры зависит от значений трения и сцепления с матрицей, а также от степени уплотнения матрицы над и под арматурой. Доказано, что внедрение арматуры без какой-либо анкеровки полотна не приносит никаких положительных результатов, т.к. растягивающие напряжения в арматуре приводят к тому, что полотно геотекстиля необратимо деформируется, выдёргиваясь из матрицы. Использование анкеровки в виде загибов полотна приводит к его новой работе, которая заключается в том, что арматура с загибами становится самонапряжённой системой, степень самонапряжения которой зависит от нагрузки, которая к ней прикладывается. Соответственно, силы трения и сцепления по нижней фибре полотна уже не столь значительно влияют на собственное состояние арматуры и интегральное состояние системы вообще. Также меньше внимания можно уделять растягивающим напряжениям в арматуре, т.к. уровень нагрузки, прикладываемой к земляному полотну, не соответствует пределам прочности на разрыв современных геосинтетических материалов [4]. Наиболее важной становится задача сочетания положительных свойств слоя и арматуры – повышения парциального модуля деформации и создания самонапряжения. Поэтому проведены экспериментальные исследования по Вариантам 5 и 6 (рис. 8 и 9).

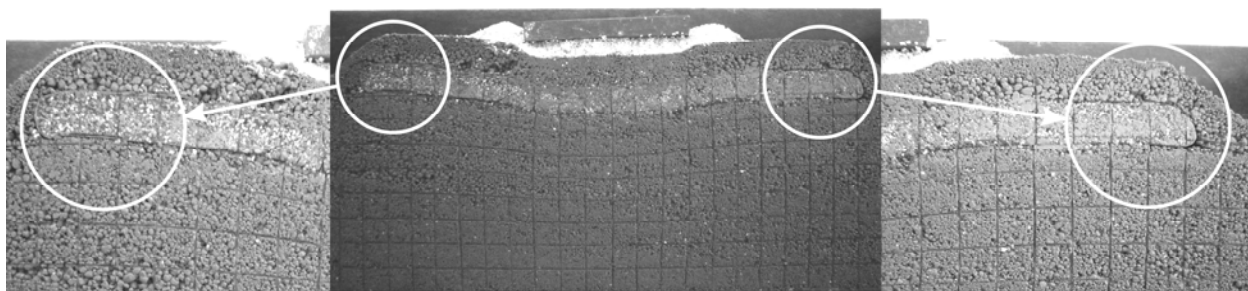


Рис. 8. Вид модели (Вариант 5) после эксперимента (в кружках показаны характерные деформации модели)

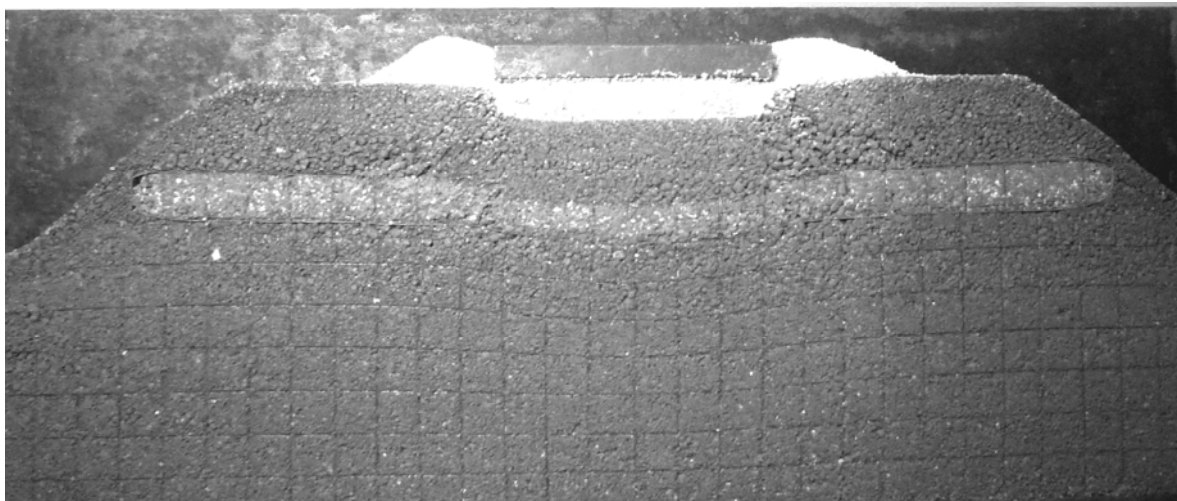


Рис. 9. Вид модели (Вариант 6) после эксперимента

В данных вариантах использована комбинация геотекстиля и малодеформируемого слоя. Все результаты приведены в виде графиков, и,

как следует из их анализа (рис. 10), количественно варианты отличаются друг от друга значительно.

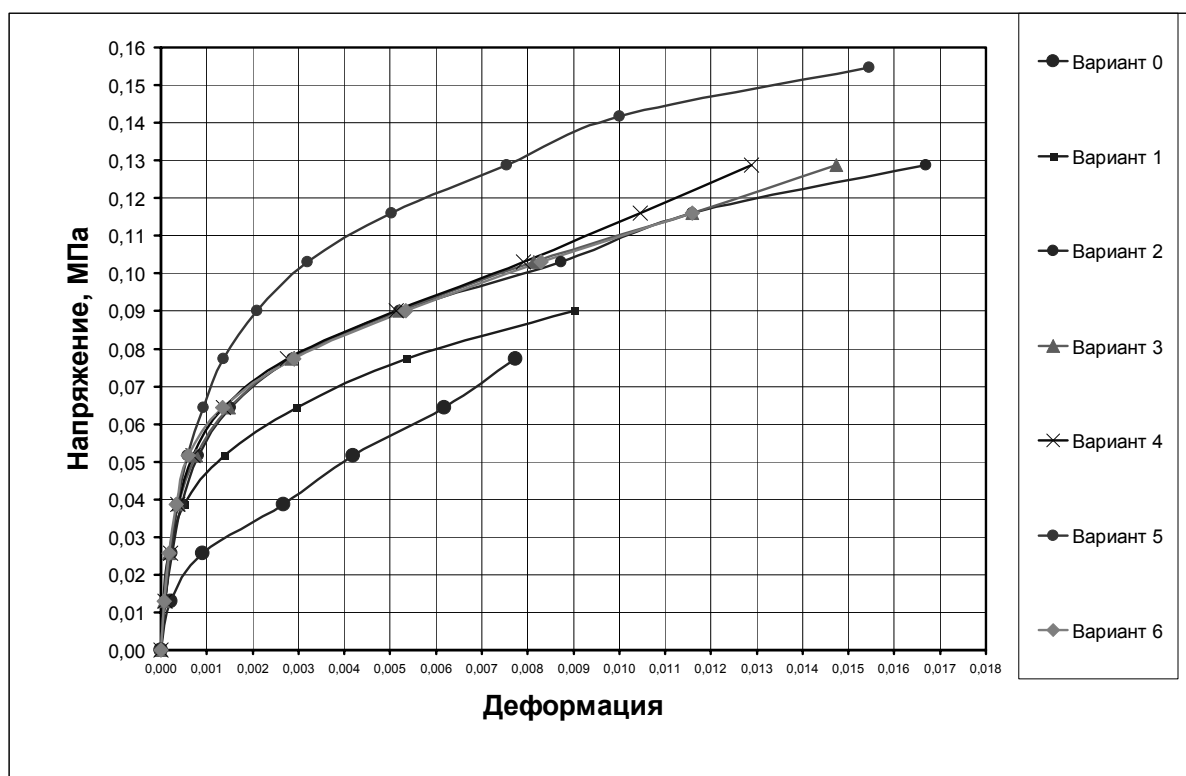


Рис. 10. График зависимости напряжений и деформаций для различных вариантов усиления

Важным является тот факт, что деформирование по Вариантам 2, 3, 4 и 6 практически одинаково, что свидетельствует о схожем влиянии на интегральное НДС, причём Вариант 6, который является комбинированным, оказывает такое же влияние, как и варианты без геотекстиля.

Таким образом, анализ определённых в ходе экспериментальных исследований эффектов позволяет сделать следующие **выводы**.

1. Применение усиления земляного полотна в виде малодеформируемого слоя является целесообразным, т.к. небольшой разброс деформационных свойств слоя и матрицы исключает возможность какого-либо расслоения матрицы и внедрённого элемента.

2. Результаты экспериментальных исследований также свидетельствуют о том, что положение слоя по высоте в пределах зоны активного деформирования существенно не влияет на снижение вертикальных деформаций, т.е. при разработке технологии не следует использовать особенные механизированные средства.

3. Исследование сущности влияния малодеформируемого слоя и арматуры в виде геосинтетических материалов с определением преимуществ и недостатков каждого, свидетельствует о том, что применение комбинированных решений наиболее оптимально, что следует из количественного анализа каждого из вариантов (повышение напряжений и деформаций в два раза в Варианте 5 по сравнению с неармированным земляным полотном).

4. Характер деформирования земляного полотна по комбинированным вариантам свидетельствует о том, что в них происходит сочетание положительных свойств комбинации слоя и арматуры, т.к. повышение деформационных

свойств слоя, который обёрнут полотном геотекстиля, образуя самонапряжённую систему, не позволяет расслаиваться арматуре и матрице, обеспечивая наибольшее сопротивление нагрузке, прикладываемой к земляному полотну.

Таким образом, проведя данные экспериментальные исследования, проанализировав их и получив важную информацию о НДС моделей с различными вариантами усиления, возможно дальнейшее развитие, которое заключается в экспериментальном исследовании моделей с дискретным армированием.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимофеева, Л. М. Армирование грунтов [Текст] / Л. М. Тимофеева. – Пермь: Изд-во Пермского политехн. ин-та, 1991. – 478 с.
2. Джоунс, К. Д. Сооружения из армированного грунта [Текст] / К. Д. Джоунс. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.
3. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану двох варіантів підсилення конструкції земляного полотна / В. Д. Петренко [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 107-111.
4. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії. ЦП/0084 [Текст]. – К., 2002. – 156 с.
5. Рубцов, И. В. Закрепление грунтов земляного полотна автомобильных и железных дорог [Текст] / И. В. Рубцов, В. И. Митраков, О. И. Рубцов. – М.: АСВ, 2007. – 184 с.

Поступила в редколлегию 03.06.2010.

Принята к печати 15.06.2010.