

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, УСИЛЕННОГО  
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Для исследования напряженно-деформированного состояния земляного полотна, армированного георешетками, использован программный комплекс ANSYS, реализующий метод конечных элементов. По результатам расчетов выполнена оценка эффективности применения георешеток с целью укрепления конструкций земляного полотна различного назначения.

**Ключевые слова:** земляное полотно; геосинтетические материалы; георешетки; метод конечных элементов; модуль упругости или модуль Юнга; напряженно-деформированное состояние.

UDC 625.123

A.I. Skutin,  
M.N. Smerdov,  
D.N. Smerdov  
Yekaterinburg**ANALYSIS OF STRESS-STRAIN BEHAVIOR OF SUBGRADE,  
REINFORCED BY GEOSYNTHETICS MATERIALS**

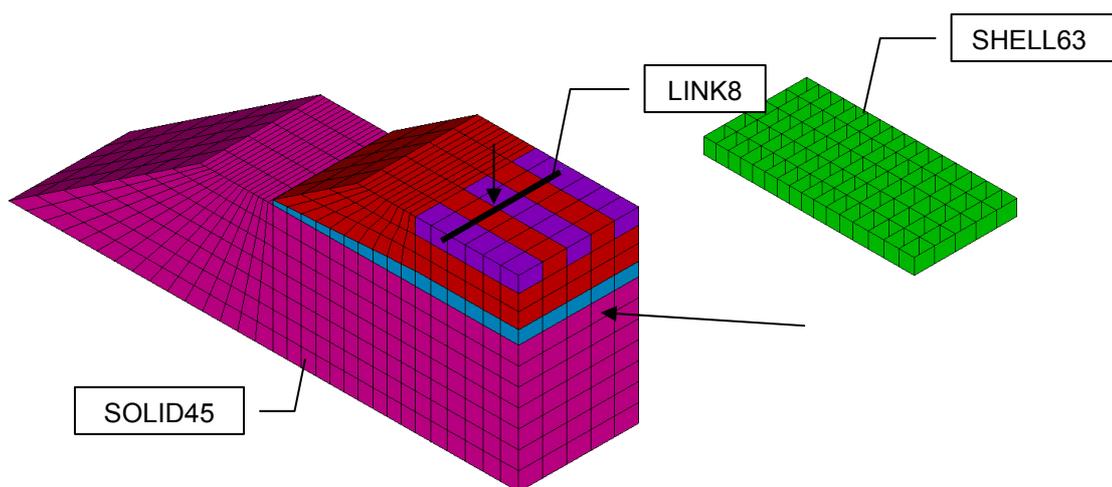
To evaluate the stress-strain behavior of subgrade reinforced by geogrids software package ANSYS implementing the finite element method was used. According to the results of calculations an evaluation of the effectiveness of geogrids enhancing subgrade structures for various purposes was carried out.

**Key words:** Subgrade; geosynthetics materials; geogrids; finite element method; elastic modulus or Young's modulus; stress-strain behavior.

В настоящее время большое количество автомобильных и железных дорог располагается на слабом основании. В процессе эксплуатации дорог образуются просадки земляного полотна, которые приводят к отклонению параметров продольного и поперечных профилей от нормативных требований. Существуют различные способы по повышению устойчивости и стабильности земляного

полотна, такие как устройство пригрузочных берм, укрепляющих конструкций в виде габионов и подпорных стен и др. На сегодняшний день при выполнении земляных работ перспективным является применение геосинтетических материалов. Основной целью применения в дорожном хозяйстве геосинтетических материалов является обеспечение надежного функционирования дорог различного назначения или отдельных их элементов в сложных условиях строительства и эксплуатации [1]. Одними из самых сложных и подверженных деформациям типов земляного полотна дорог являются насыпи.

На сегодняшний день в инженерных расчетах насыпей, армированных геосинтетическими материалами, применяются двухмерные расчетные схемы, которые не позволяют учесть распределение характеристик грунта и поездной нагрузки вдоль оси пути. Нагрузка в большинстве случаев принимается как полосовая прямоугольная, распределенная по ширине основной площадки насыпи. Для уточнения пространственной работы участков насыпей с использованием армоэлементов из геосинтетических материалов и оценки эффективности их применения может быть применен метод конечных элементов (МКЭ). В настоящее время имеется ряд мощных программно-вычислительных комплексов (ANSYS, COSMOS/M, ABAQUS, ADINA, MIDAS, PLAXIS и др.), позволяющих сформировать не двумерную расчетную схему, а виртуальный прототип заданного участка пути с полным соответствием реальным геометрическим размерам и физико-механическим свойствам материалов. Для создания объемной конечно-элементной модели (КЭ модель) участка насыпи, армированной геосинтетическими материалами, был использован программный комплекс ANSYS. В программном комплексе ANSYS была разработана КЭ модель участка насыпи железнодорожного пути длиной 1,34 м, на примере которой были произведены тестовые расчеты [2, 3]. На рис.1 приведен вид КЭ модели земляного полотна железнодорожного пути, в основании которого уложена объемная полимерная георешетка СТ 200/200\_1030П [1].



**Рис. 1. Конечно-элементная модель земляного полотна железнодорожного пути с основанием, усиленным объемной георешеткой**

В КЭ модели тело насыпи, балластной призмы и железобетонных шпал было разбито на объемные конечные элементы SOLID45 (рис. 1). Рельс

моделировали стержневыми конечными элементами LINK8, объемную георешетку – пластинчатым конечным элементом SHELL63 (рис. 1). Передачу усилий на КЭ модель земляного полотна моделировали через металлический рельс, железобетонные шпалы, щебеночный балласт и песчаную подушку.

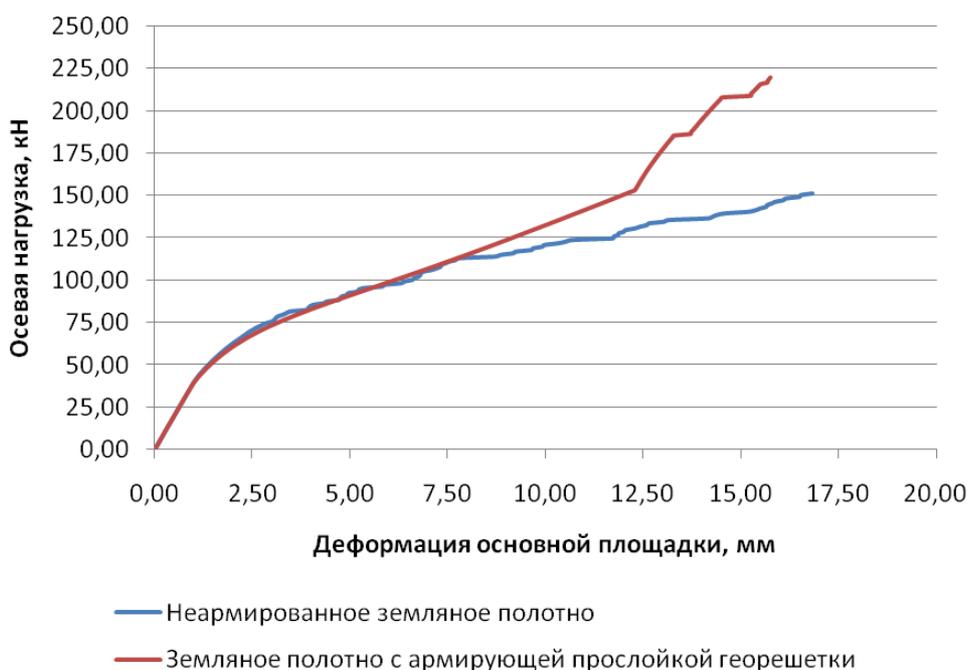
Земляное полотно представлено насыпью из мелкого песка высотой 1,42 м с крутизной откосов 1:1,5. Вес вагона в модели заменен парой вертикально направленных внешних сил  $F_0$  величиной 147 кН (осевая нагрузка 30 т, рис. 1). Исходное поле гравитационных сил задается весом объемных конечных элементов, на которые разбивается геометрическая модель участка пути. Краевые условия заданы в виде нулевых продольных перемещений  $u_z$  на торцах и нулевых вертикальных перемещений  $u_y$  в основании земляного полотна. При нелинейном анализе в программе ANSYS нагружение моделей осуществляется с определенным шагом, при этом величина шага зависит от поведения модели. Во время упругой работы модели шаг нагружения должен быть достаточно большим, а в момент неупругой работы – минимальным. В данном исследовании минимальный шаг нагружения земляного полотна был принят равным 0,865 кН. При расчетах были приняты следующие прочностные и деформативные характеристики материалов КЭ модели, представленные в табл. 1.

Таблица 1

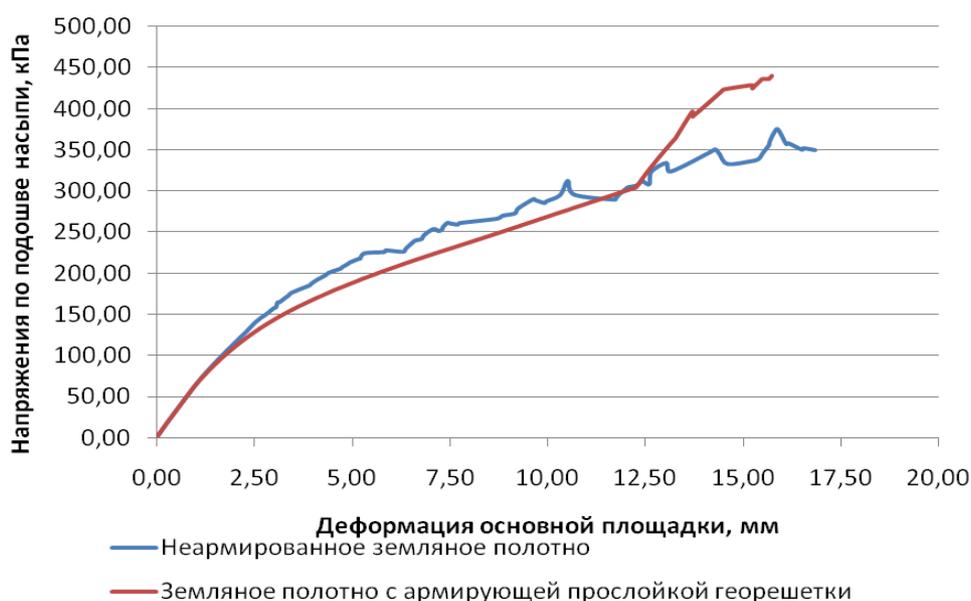
### Характеристики материалов КЭ модели

Материал	Свойства					Модель деформирования
	$E$ , кПа	$\nu$	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$c$ , кПа	$\phi$ , град	
Рельсовая сталь	$2,05 \times 10^8$	0,3	7,85	-	-	Линейно-упругая
Бетон шпал	$3,25 \times 10^7$	0,2	2,5	-	-	
Объемная георешетка	$3,2 \times 10^5$	0,3	0,7	-	-	
Щебеночный балласт	$1 \times 10^5$	0,27	1,85	2	27	Друкера – Прагера
Песчаная подушка	$1,2 \times 10^5$	0,3	1,8	3	36	
Грунт насыпи	$18 \times 10^3$	0,35	1,82	8	28	

Результатами тестовых расчетов в рамках трехмерной КЭ модели являются напряжения и перемещения в балластном слое и земляном полотне с учетом их армирования георешеткой и без. По результатам расчета в программном комплексе ANSYS получены графики просадки основной площадки земляного полотна в зависимости от приложенной нагрузки и диаграмма деформирования грунта насыпи, приведенные на рис. 2, а и б.



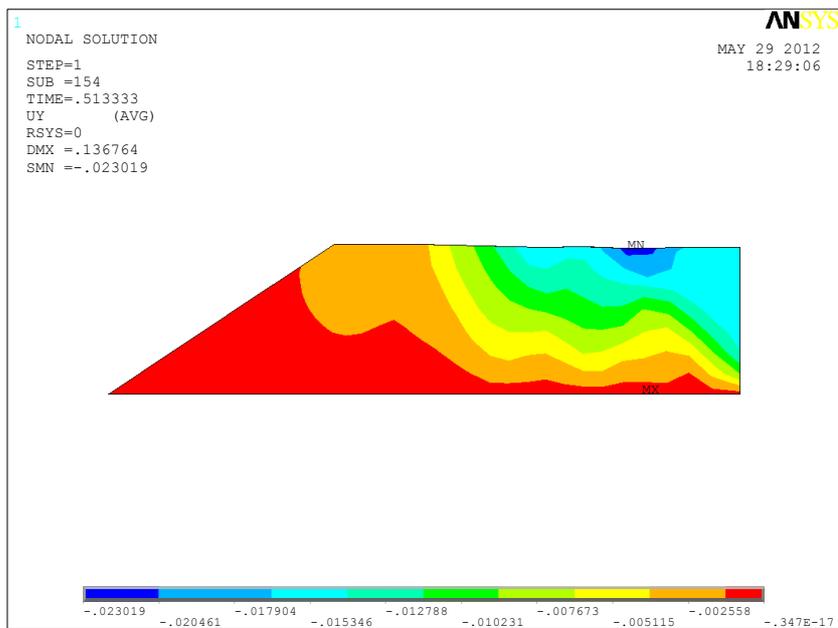
а



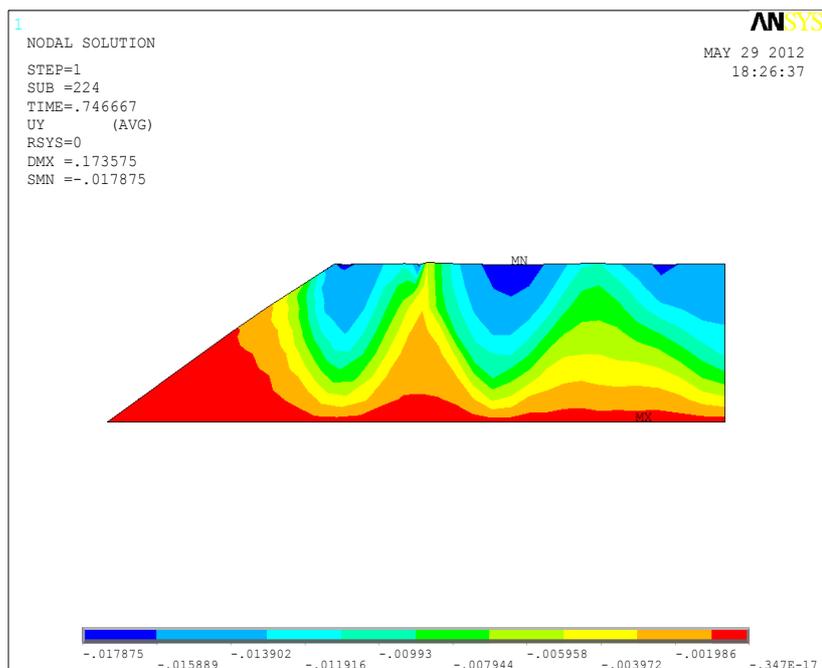
б

**Рис. 2. Диаграммы: а – просадки основной площадки насыпи в зависимости от прикладываемой нагрузки; б – деформирования грунта в уровне подошвы насыпи**

Как видно из графиков на рис. 2, а и б, грунт насыпи с включением армирующей прослойки объемной георешетки может испытывать более высокую нагрузку и напряжения в основании, при этом иметь более стабильные деформации основной площадки земляного полотна. На рис. 3 представлен деформированный вид и вертикальные перемещения грунта насыпи, балластного слоя с армирующей прослойкой объемной георешетки и без.



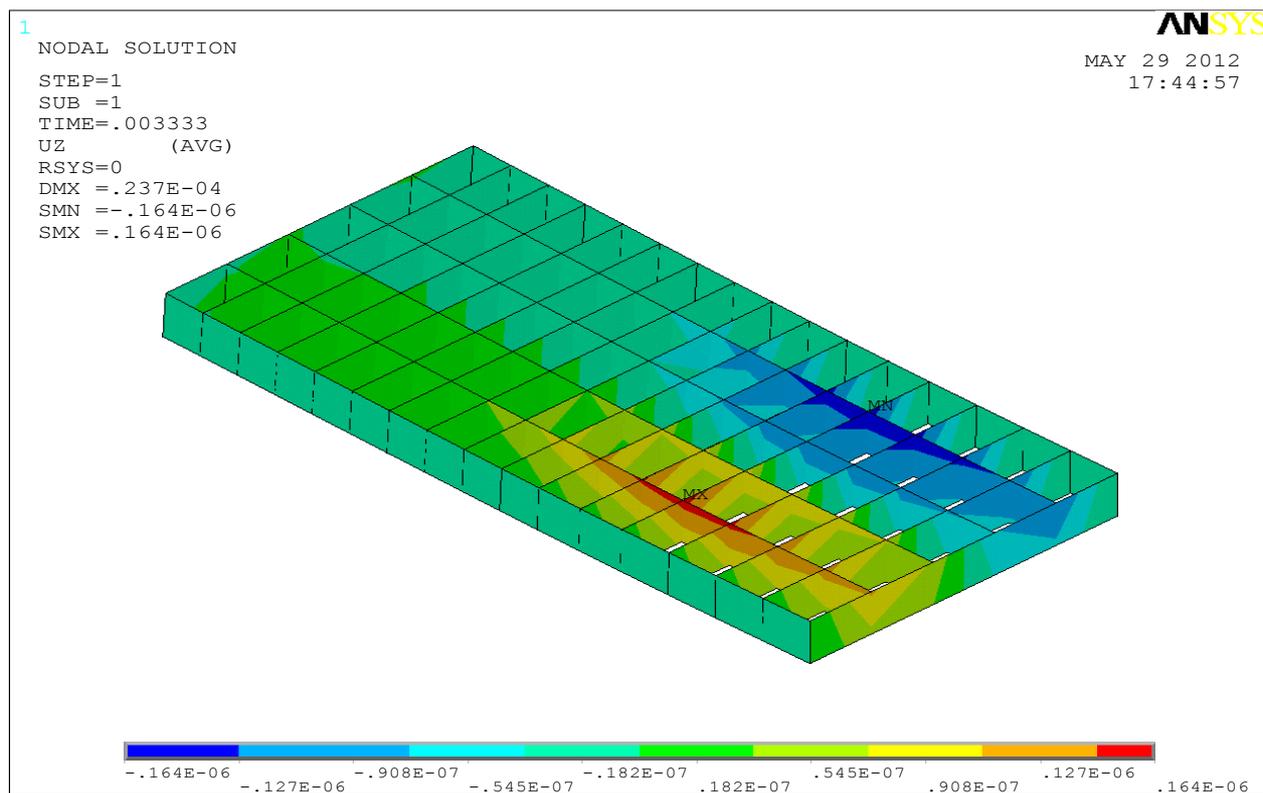
*a*



*б*

***Рис. 3. Деформированный вид: а – грунта насыпи и балластного слоя; б – грунта насыпи и балластного слоя с учетом армирующей прослойки объемной георешетки***

Как видно на рис. 3, объемная георешетка способствует более равномерному распределению нагрузки в грунте насыпи земляного полотна, при этом в предельном состоянии максимальные напряжения в элементах георешетки достигают значения 164 кПа, которые показаны на эпюре рис. 4.



**Рис. 4. Распределение нормальных напряжений в элементах объемной георешетки в направлении поперек оси пути**

Исследование напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геосинтетическими материалами, показало, что применение геосинтетиков в транспортном строительстве в качестве дополнительных армирующих прослоек достаточно эффективно. Данное техническое решение способствует стабилизации деформаций основной площадки земляного полотна, что может привести к существенному увеличению межремонтных сроков на участках дорог со слабым основанием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДМ 218.5.003-2010 Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Москва, 2010. 158 с.
2. FINITE ELEMENT MODELING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENED WITH FRP LAMINATES. Final Report SPR. Oregon Department of Transportation, 2001. 113 p.
3. Басов К.А. Справочник пользователя ANSYS. Москва, 2005. 639 с.