

УДК 624.131

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИИ ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «АМУР» (ЧИТА – ХАБАРОВСК) КМ 1927 – КМ 1942 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОРЕШЕТКИ

Михайлин Р.Г.

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск,
e-mail: mrg13@mail.ru*

Настоящая статья посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям по снижению слоев конструкции основания дорожной одежды автомобильной дороги «Амур» (Чита – Хабаровск) с использованием георешетки. Проведены расчеты по допускаемому упругому прогибу и представлены варианты конструкций дорожных одежд традиционной и новой с сокращением слоев основания. Описывается сравнительный анализ вариантов конструкций основания дорожной одежды. Проведено геотехническое моделирование с помощью методов конечных элементов в программном комплексе FEM-models для обоснования оптимального решения. Проведены экспериментальные исследования по определению модуля упругости дорожной одежды методом круглого штампа и было определено, что с точки зрения деформативности конструкции одинаковы. Проведены экспериментальные исследования по определению напряженного состояния в основании дорожной одежды от эксплуатационных нагрузок, где под георешеткой наблюдается снижение напряжений. Описываются наблюдения за деформациями насыпи и дорожной одежды. Проведена экономическая оценка применения георешеток.

Ключевые слова: армирование основания, дорожная одежда, геосинтетика, георешетка, численное моделирование, FEM Models, штамповые испытания, автомобильная дорога

NUMERICAL MODELLING TECHNIQUE OF THE HIGHWAYS ROAD CLOTHES BASES GEOGRID REINFORCEMENTS

Mikhaylin R.G.

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: mrg13@mail.ru

This article is devoted to experimental and theoretical research on reducing the the thickness of pavement layers in the structure of base of CAR road «Amur» (Chita – Khabarovsk) by geogrid reinforcement. Calculations of resilient deflection for road structure with regular and proposed methods with reduced base layers has been presented as well as the comparison analysis between design options for the pavement base. A geotechnical modeling using finite element methods in the software package FEM-models was chosen for the research of optimal solutions. Also, experimental research to determine the modulus of elasticity of the pavement by the rotary die was made and it was proved, that, in terms of deformability, the numbers are equal to regular design. Additionally, a set of experimental studies to determine the state of stresses at the base of the pavement on the operational loads with geogrid stress reduction was made. The results of the tests were presented. Economic assess for geogrid usage were calculated too.

Keywords: reinforcement of the base, pavement, geosynthetics, geogrids, numerical simulation, FEM Models, punching test, road

Экспериментальные исследования по снижению слоев конструкции основания дорожной одежды автомобильной дороги «Амур» (Чита – Хабаровск) км 1927 – км 1942 с использованием георешетки

В 2007 году были начаты экспериментальные и теоретические исследования, целью которых были изменения традиционной конструкции дорожной одежды, позволяющие выполнять строительные работы более технологично и без потери проектных параметров по деформативности и несущей способности конструкции в целом, а также сокращение стоимости [3–5]. Для улучшения свойств конструктивных слоев дорожных одежд была использована армирующая прослойка из интегрального геосинтетического материала – георешетка Tensar SS30 (Англия).

Расчет конструкции по допускаемому упругому прогибу

Согласно ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» [1], требуемый модуль упругости для дороги III категории с капитальным покрытием составляет 200 МПа.

Для достижения требуемого модуля упругости была подобрана конструкция дорожной одежды (рис. 1).

Расчетный общий модуль упругости исходной конструкции дорожной одежды равен 252 МПа.

Под расчетный общий модуль упругости 252 МПа была снижена мощность щебенистых слоев на 46%, за счет армирования георешеткой слоя основания с коэффициентом усиления модуля упругости, равным 3,5. Конструкция дорожной одежды представлена на рис. 2.

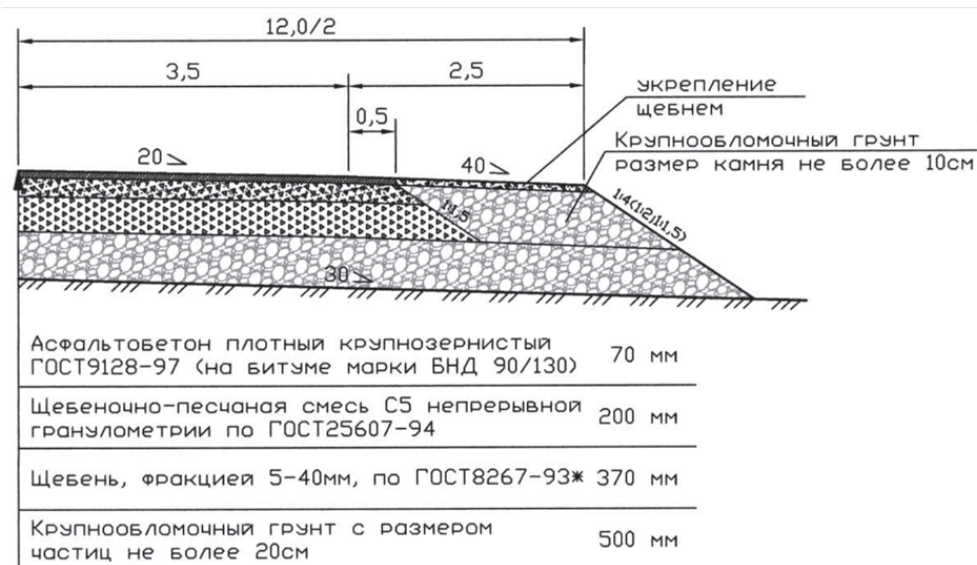


Рис. 1. Традиционная конструкция дорожной одежды

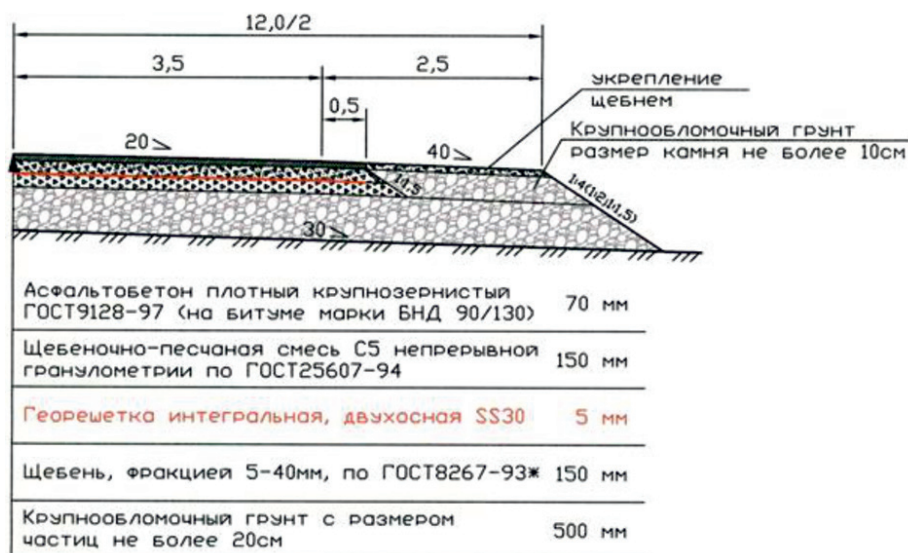


Рис. 2. Новая конструкция дорожной одежды с армированием

Расчетный общий модуль упругости новой конструкции дорожной одежды идентичен с традиционной и равен 252 МПа.

Данную методику можно сравнить с методикой увеличения общего модуля упругости армированной дорожной конструкции при помощи коэффициента усиления α_1 по ОДМ 218.5-002-2008 [2].

$$E_{\text{общ}}^{\text{арм}} = \alpha_1 \cdot E_{\text{общ}}$$

Рассчитанный по ОДМ 218.5-002-2008, общий модуль упругости новой конструк-

ции с армированием составит 286 МПа, что превышает на 13,5% (252 МПа) результат расчета по разработанной методике.

Для предложенного метода определения модуля упругости слоя основания дорожной одежды автомобильной дороги, армированного георешеткой, проведено численное моделирование конструкций.

Геотехническое моделирование

Геотехническое моделирование вариантов конструкции дорожной одежды для

обоснования оптимального геотехнического решения выполнено с использованием программного комплекса «FEM models».

Главным критерием оценки стабильности и долговременной прочности конструкции принят прямой параметр – максимальные величины упругих деформаций сооружения под нагрузками, полученные методом математического моделирования.

Для описания работы конструкции автодороги применялась упругопластическая модель с предельной поверхностью. Выбор этой модели обуславливается тем, что ее параметры могут быть взяты из имеющихся материалов стандартных инженерно-геологических изысканий. В такой постановке численные расчеты хорошо согласуются с традиционными инженерными методами расчета деформаций и позволяют с достаточной точностью описать напряжённое состояние и деформирование сооружений.

При рассмотрении поставленных задач проводилось численное моделирование напряженно-деформированного состояния конструкции двухполосной автодороги «Амур» без усиления и с усилением интегральной георешеткой SS-30 с нагрузкой на ось автомобилей 100 кН. Физико-механические характеристики тела земляного полотна приняты, согласно исходным данным для видов материалов конструкции сооружения, по ОДН 218.046-01 и СНиП 2.02.01-83*.

По результатам численного моделирования традиционной и оптимизированной конструкций автомобильной дороги, максимальные деформации получились практически одинаковыми и составляют до 5 мм (рис. 3).

Снижение деформаций в конструкции дорожной одежды и теле земляного полотна при усилении «псевдоплитой» с интегральным геоматериалом SS-30 происходит

в 1,5–1,7 раза интенсивнее, чем в проектной (исходной) конструкции.

Изолинии «нулевых» вертикальных деформаций на проектной конструкции сдвинуты к бровке обочины, а на предлагаемой конструкции (усиленной геоматериалом SS) – ближе к краю дорожного покрытия, что указывает на положительный эффект усиления. А также наблюдается некоторое уменьшение деформаций на поверхности проезжей части по оси автодороги.

Экспериментальные исследования по определению модуля упругости дорожной одежды

Работы по оценке прочности построенной дорожной конструкции с асфальтобетонным покрытием федеральной дороги «Амур» проводились совместно с независимой экспертизой ООО ГИП «Азимут». Методика полевых испытаний дорожной одежды по ВСН 52-89, ВСН 46-83 и ГОСТ 20279-99, для II дорожно-климатической зоны.

При проведении линейных испытаний было использовано оборудование для испытаний штампом фирмы «TESTING» (рис. 4). Для контроля качества уплотнения принят жесткий штамп круглой формы диаметром 300 мм.

На обследованном участке с традиционной конструкцией (без армирования) дорожной одежды фактический модуль упругости равен от 259,60 МПа до 281,66 МПа, что на 3,0÷11,8% больше от расчетного 252 МПа.

На участке с дорожной одеждой, с уменьшенными слоями и усиленной силовым геоматериалом, фактический модуль упругости равен от 254,93 МПа до 295,47 МПа, на 1,2÷17,3% больше от расчетного 252 МПа.

Из вышесказанного следует, что конструкции с точки зрения деформативности практически одинаковы.

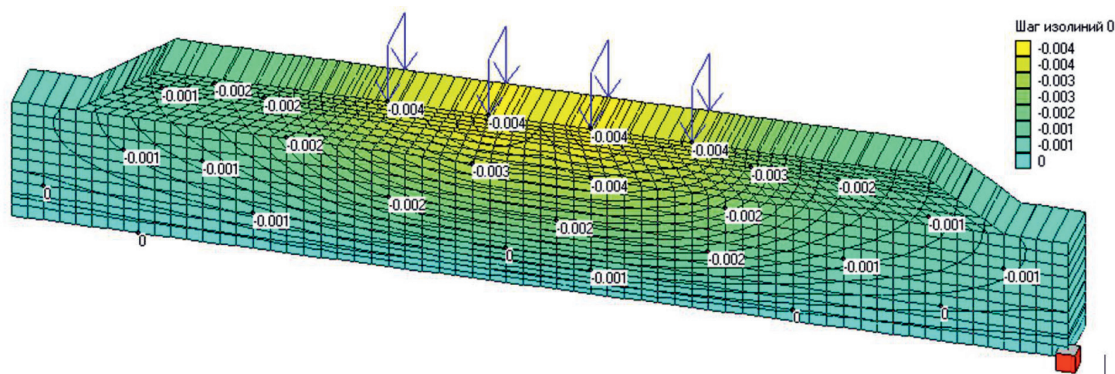


Рис. 3. Изолинии вертикальных деформаций конструкции автомобильной дороги от расчетной нагрузки с усилением основания дорожной одежды георешеткой



Рис. 4. Испытания дорожной одежды штампом



Рис. 5. Установка месдоз

Экспериментальные исследование по определению напряжений в основании дорожной одежды

Для определения напряжений использовались месдозы, подключаемые к цифровой станции, которая записывала результаты измерений. Месдозы были установлены в двух сечениях дорожной одежды, на границе между щебнем и крупнообломочным грунтом (рабочим слоем). В каждом сечении находились по три месдозы, две из которых измеряли горизонтальные напряжения (по оси и под местом проезда колеса), а одна – вертикальные (под проездом колеса). Первое сечение соответствует традиционной конструкции дорожной одежды, а второе – предлагаемой, с усилением георешеткой. Экспериментальные сечения расположены на км 1927 ПК 3 + 10 и ПК 3 + 20.

По результатам исследования напряжений в основании дорожной одежды под георешеткой наблюдается снижение напряжений горизонтальных от 13 % до 41 %, а вертикальных от 36 % до 39 %.

Наблюдения за деформациями насыпи и дорожной одежды

С целью определения деформаций конструкции земляного полотна на его откосе было заложено 9 точек наблюдения, измерения которых выполнялись путем нивелирования.

По результатам наблюдений 4-го года эксплуатации дорожных одежд отмечено затухание и снижение вертикальных деформаций конструкции, усиленной георешеткой, от 27 % до 46 %. Вертикальные деформации конструкции дорожной одежды без усиления к 4-му году не затухающие.

Экономическая оценка применения георешетки

Применение георешетки в качестве армирующей прослойки в щебенистой среде позволило снизить слою дорожной одежды:

1. Щебеночно-песчаная смесь С5 на 50 мм (200–150 мм).

2. Щебень, фракцией 5–40 мм, на 220 мм (370–150 мм).

Экономия на 1 кв.м дороги составляет 60,54 рублей.

Экономия на 1 км дороги, при ширине армирования 8 м, составляет 484 320,00 рублей.

В данном расчете не учтены затраты на транспортировку и работу механизации по укладке материалов.

Выводы

1. На опытно-экспериментальном участке федеральной автомобильной дороги «Амур» (Чита – Хабаровск) на км 1927 – км 1942 предложена усовершенствованная конструкция дорожной одежды со снижением толщины основания дорожной одежды на 46 %.

2. Обеспечен требуемый модуль упругости армированной дорожной одежды с уменьшенными слоями основания дорожной одежды.

3. По результатам экспериментальных исследований в основании дорожной одежды под георешеткой наблюдается снижение напряжений горизонтальных от 13 % до 41 %, а вертикальных от 36 % до 39 %.

4. По результатам наблюдений 4-го года эксплуатации дорожных одежд отмечено затухание и снижение вертикальных деформаций конструкции, усиленной георешеткой, от 27 % до 46 %. Вертикальные деформации конструкции дорожной одежды без усиления к 4-му году не затухающие.

Средняя цена материалов за I квартал 2016 г.

№	Материал	Ед. изм.	Объем, на 1 м ² дороги	Цена, руб	Итого, руб
1	Щебеночно-песчаная смесь С5	м ³	0,05	542,80	27,14
2	Щебень, фракцией 5–40 мм	м ³	0,22	970	213,40
3	Георешетка SS30	м ²	1,0	180	180

5. Численное моделирование НДС усиленной конструкции дорожных одежд показало общую величину деформации до 5 мм, что показывает на эффективность данного конструктивного решения.

6. Экономическая эффективность применения георешетки со снижением щебенистых слоев дорожной одежды, по средним ценам на материалы за I квартал 2016 г., на 1 м² данного участка дороги составляет 60,54 рублей, а на 1 км дороги, при ширине армирования 8 м, составляет 484 320,00 рублей, без учета затрат на транспортировку и работу механизации по укладке материалов.

Список литературы

1. Кудрявцев С.А. Разработка геотехнических решений для стабилизации деформаций на автомобильной дороге «Амур» (Чита – Хабаровск) / С.А. Кудрявцев, Ю.Б. Берестянный, Р.Г. Михайлин [и др.] // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (22–24 апреля 2009 г.) в 6 т.; – Т. 2. – С. 24–27.
2. Кудрявцев С.А. Штампные испытания щебеночных оснований в крупномасштабном лотке / С.А. Кудрявцев, Р.Г. Михайлин, К.М. Шишкина // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования. Труды Всероссийской научно-практической конференции (21–

23 апреля 2010 г.) в 6 т.; под ред. О.Л. Рудых. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – Т. 2. – С. 213–216.

3. Отраслевой дорожный методический документ: ОДМ 218.5.002-2008. Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев дорожной одежды из зернистых материалов. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2008. – 112 с.

4. Отраслевые дорожные нормы: ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2001. – 146 с.

5. Улицкий В.М. Расчет системы «основание – сооружение» при промерзании и оттаивании грунтов с помощью программы «Termoground» / В.М. Улицкий, И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов [и др.] // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015. – № 5. – С. 3–7.

6. Kudryavtsev S.A. Research and Development of Rational Structure of Pavement Using Integral Geogrid for Section of Chita – Khabarovsk Highway / S.A.Kudryavtsev, Y.B.Berestyanii, R.G.Mikhailin [et al.] // 3rd International Geotechnical Symposium on Geotechnical Engineering for Disaster Prevention and Reduction of Harbin Institute of Technology (July 22–24, 2009. Harbin, China). – 2009. – P. 18–25.

7. Kudryavtsev S.A. Geosynthetic materials in designs of highways in cold regions of Far East / S.A.Kudryavtsev, Y.B.Berestyanii, R.G.Mikhailin [et al.] // 14th Conference on cold regions engineering (August 30–September 2, 2009. Duluth, Minnesota, USA). – 2009. – P. 45–48.

8. Kudryavtsev S.A. Motorway Structures Reinforced with Geosynthetic Materials in Polar Regions of Russia / Y.B.Berestyanii, T.U.Valtseva, R.G.Mikhailin [et al.] // The 24rd International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference (Bussan, Korea. June 26–30, 2014). – 2014. – P. 502–506.