

*Шакирзянов Д. И.,*

*Ухтинский государственный технический университет,*

*доцент кафедры Механики, к.т.н.*

*Задворнов В. Ю.,*

*Пермский национальный исследовательский*

*политехнический университет,*

*начальник лаборатории кафедры Автомобильные дороги и мосты*

*Бурмистров В. А.,*

*Ухтинский государственный технический университет,*

*доцент кафедры Механики, к.т.н.*

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД  
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ  
МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Аннотация: Разработка математической модели формирования уплотненного слоя щебеночных оснований и покрытий лесовозных автомобильных дорог позволила оценить изменения в конструктивных слоях щебеночных оснований и покрытий как в процессе строительства, так и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог.*

*Ключевые слова: Математическая модель, щебеночные покрытия, лесовозные автомобильные дороги.*

*Shakirzyanov D. I.*  
*Ukhta State Technical University,*  
*Associate Professor of the Department of Mechanics,*  
*Burmistrov V. A.,*  
*Ukhta State Technical University,*  
*Associate Professor of the Department of Mechanics,*  
*candidate of technical sciences*  
*Zadvornov V. Yu.,*  
*Perm national research polytechnic university,*  
*Head of Laboratory of the Department of Highways and Bridges*

**RESULTS OF MODELING THE INCREASE IN TECHNOLOGICAL  
EFFICIENCY AND OPERATIONAL STABILITY OF STRUCTURAL  
LAYERS OF ROAD PAVEMENTS OF LOGGING ROADS MADE OF  
LOCAL MATERIALS**

*Abstract: The development of a mathematical model for the formation of a compacted layer of crushed stone bases and coverings of logging roads made it possible to evaluate changes in the structural layers of crushed stone bases and coverings both during the construction and operation of logging roads.*

*Key words: Mathematical model, crushed stone pavements, logging roads.*

На рисунке 1 изображен пример изменения межзерновой пустотности для отдельной фракции 20 ... 40 мм щебня марки 400 в зависимости от количества приложений нагрузки.

Изменения зернового состава для отдельных фракций щебня в образованной при уплотнении смеси построены при помощи программного

обеспечения PTC MathCAD Prime 2.0 с использованием метода аппроксимации Левенберга – Марквардта и имеет вид

$$f(x, \beta) = \beta_0 \cdot \ln(x + \beta_1) + \beta_2, \quad (1)$$

где  $\beta_0, \beta_1$  и  $\beta_2$  - вещественные значения параметров уравнения

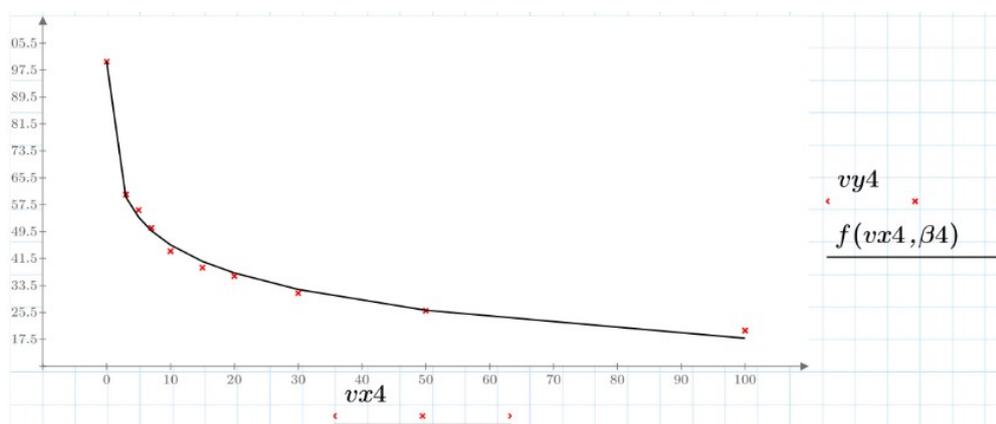


Рисунок 1 – Изменение межзерновой пустотности щебня марки 400 фракции 20-40 мм от количества приложений нагрузки:  $vx4$  — вектор количества приложенных нагрузок;  $vy4$  — вектор межзерновой пустотности

Полученные данные позволили построить зависимости изменения зернового состава от количества приложений нагрузений (рисунки 2 и 3).

Дальнейшие исследования по повышению транспортно-эксплуатационных качеств позволили определить зоны оптимального уплотнения, исходя из наибольшей плотности смеси и ее зернового состава, с возможностью сохранности структуры щебеночных слоев.

Анализ показал, что для достижения межзерновой пустотности смеси в районе от 12 до 15 %, оптимальный зерновой состав может быть получен для доломитового щебня в диапазоне от 100 до 170 циклов приложения нагрузки, для малопрочного известнякового от 50 до 70.

При достижении размеров частиц крупностью  $<0,25$  мм у малопрочных материалов возникают условия для образования цементирующих связей (таблица 1).

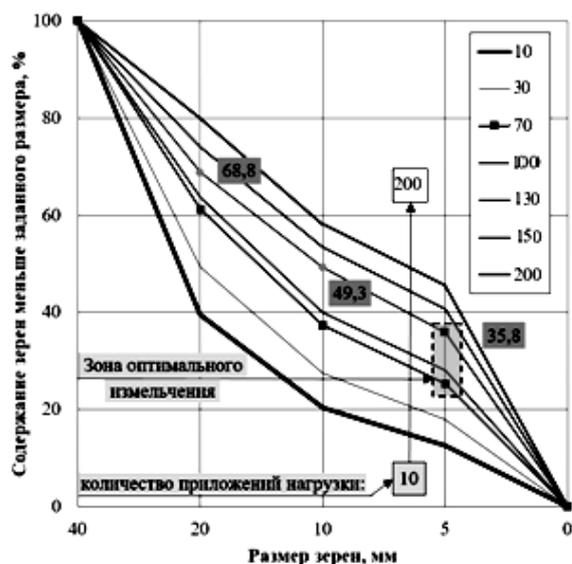


Рисунок 2 – Кривые оптимального зернового состава в зависимости от количества приложений нагрузки, доломитовый щебень марки 1000

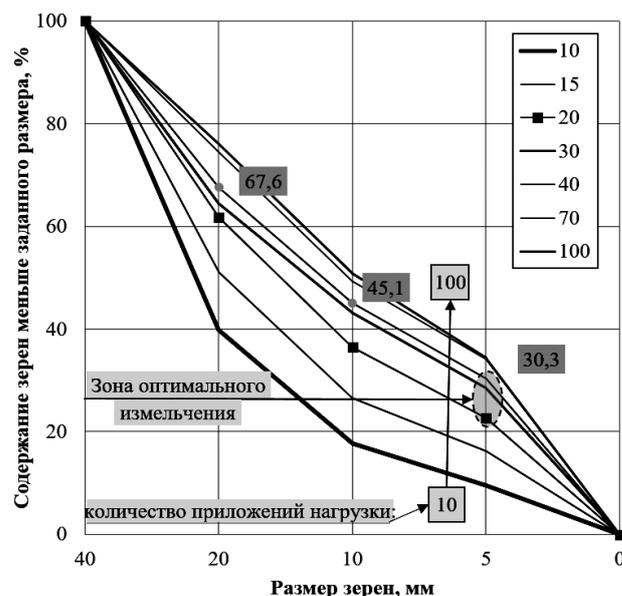


Рисунок 3– Кривые оптимального зернового состава в зависимости от количества приложений нагрузки, известняковый щебень марки 400

Таблица 1 – Цементирующая способность каменных материалов

Материал	Прочность исходного каменного материала, МПа	Содержание пыли <0,25 мм в фракции 0-5 мм, %	Прочность образца из пыли, МПа	Приращение прочности относительно исходного, %
Гранитный щебень 800	3,09	24,1	0,16	5,1
Известняковый щебень 400	2,64	23,8	0,86	32,6
Доломитовый щебень 1000	6,2	22,3	1,5	24,2

Образование каменной пыли с одной стороны уменьшает давления между частицами, а с другой, после завершения работ по уплотнению позволяет повысить сдерживающую силу между крупными частицами за счет образования цементирующих связей до 7 – 9 %.

В процессе измельчения частиц происходит уменьшение давления между зернами каменного материала до предела, когда рост числа контактов

замедляется и происходит перераспределение усилий в щебеночном слое. Последующее уплотнение приводит к росту сдерживающих усилий между зернами, вплоть до достижения оптимального гранулометрического состава. Однако после достижения оптимального состава будет происходить последовательное снижение прочности и транспортно-эксплуатационных показателей щебеночного покрытия (рисунок 4). Количество приложений нагрузений соответствовало средним значениям интенсивности транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах.

Данный факт подтверждается снижением несущей способности дорожных одежд в процессе эксплуатации как лесовозных автомобильных дорог, так и автомобильных дорог общего пользования.

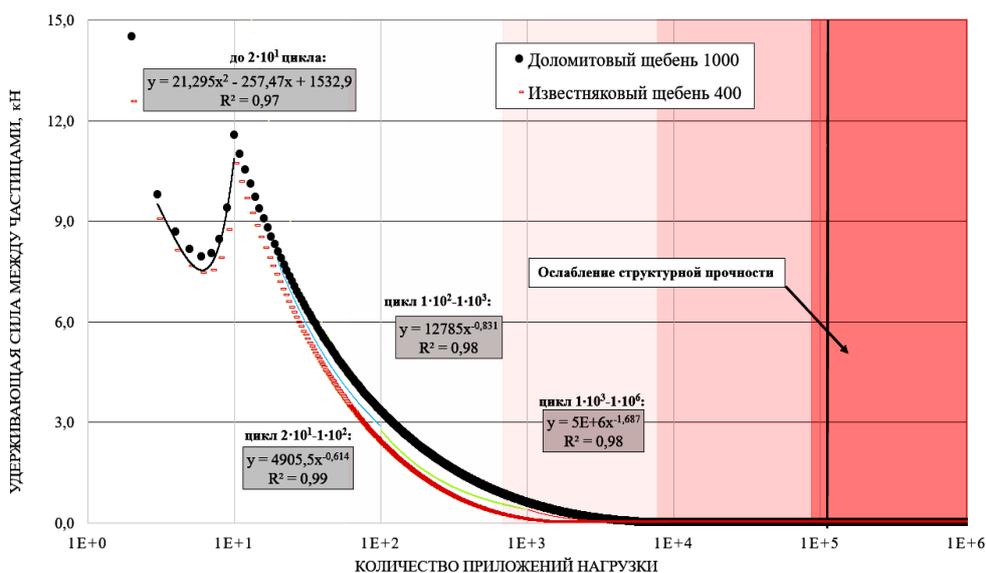


Рисунок 4 – Зависимости снижения несущей способности покрытий лесовозных дорог от количества приложения нагрузки

По результатам расчетно-экспериментальных исследований была построена зависимость модуля упругости конструктивного слоя от межзерновой пустотности для дорожной одежды из местного малопрочного щебня марки 400.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Васильев, А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. I / А.П. Васильев [и др.]. – М.: Информавтодор, 2005. – 236 с.
2. ВСН 24-88 Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог / Введ. – 1989.01.01 – М.: Транспорт, 1989. – 198 с.
3. Кручинин, И. Н. Математическая модель для расчета параметров ходовой части лесотранспортных и лесозаготовительных машин // Изв. высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2006. – N 1. – С. 52-57.