

УДК 625.768.5(004.89)

## ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С МОРОЗОЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ

В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, С.В. Ченушкина, Г.А. Иовлев, Э.Р. Ахтямов

*Рассмотрена проблема совершенствования лесных автомобильных дорог путем использования методики оптимального проектирования параметров многослойной конструкции дорожной одежды лесовозной дороги с морозозащитным слоем из вспученного вермикулита. Ограниченность существующих методик проектирования, а также недостаточная определенность подходов к расчетам многослойных конструкций, при этом с морозозащитным слоем не позволяет решить эту задачу достаточно корректно. Таким образом была определена цель исследовательской работы, которая заключалась в разработке постановки задачи оптимального проектирования параметров многослойной конструкции дорожной одежды с морозозащитным слоем и расчет оптимальных параметров для условий Уральского климатического региона. В работе решались следующие задачи: 1) постановка задачи в общем виде; 2) формирование критерия оптимальности (целевой функции); 3) определение вектора управляющих параметров; 4) задание ограничений; 5) разработка алгоритма поиска оптимального решения и его реализация в компьютерной программе на языке PHP; 6) расчет оптимальных параметров конструкции лесовозной дороги с морозозащитным слоем для климатической зоны Уральского региона. Результатами работы была предложенная постановка задачи оптимального проектирования конструкции дорожной одежды, алгоритм оптимизации и прикладная компьютерная программа для проектирования автомобильных лесовозных дорог. Программа может быть рекомендована для использования в практике проектирования лесовозных дорог.*

**Ключевые слова:** лесные дороги, дорожная одежда с морозозащитным слоем, оптимальное проектирование дорожных одежд.

### Введение

В соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года предусматривается более эффективное освоение лесосырьевых баз, что в первую очередь требует совершенствования методов проектирования и строительства автомобильных лесотранспортных сетей.

Существующие методы проектирования дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, расположенных в сложных природно-климатических условиях, чаще всего не способны обеспечить эффективную борьбу с зимним морозным пучением, т.к. они в большинстве своем ориентированы на использование только традиционных методов проектирования, и использование традиционных дорожно-строительных материалов. Поэтому поиск альтернативных решений методов проектирования дорожных одежд и их строительства, с использованием инновационных материалов, остается актуальным [1, 3, 9, 12].

Обзор исследований по проблеме повышения эффективности проектирования и строительства лесовозных дорог, выполненный учеными СПбГЛТУ, ВГЛТУ, УГЛТУ, УГТУ, ПГТУ указывает на достаточно подробную проработанность темы, в том числе с учетом сложных природно-климатических условий на территориях освоения лесосырьевых баз Уральского региона [3,7,9]. Однако вопросы обеспечения морозоустойчивости лесотранспортных сетей и оптимального их проектирования выпали из поля зрения исследователей. В этой связи создание новых методик оптимального проектирования многослойных морозоустойчивых конструкций дорожных покрытий является задачей актуальной, что и определило цель настоящей работы.

Целью работы была постановка задачи оптимального проектирования параметров многослойной конструкции дорожной одежды с морозозащитным слоем и расчет их оптимальных параметров для условий Уральского региона.

В работе решались следующие задачи:

- постановка задачи в общем виде;
- формирование критерия оптимальности (целевой функции);
- задание вектора управляющих параметров;

- задание ограничений управляющих параметров;
- разработка алгоритма поиска оптимального решения;
- реализация алгоритма оптимизации в компьютерной программе;
- расчет оптимальных параметров конструкции лесовозной дороги с морозозащитным слоем для климатической зоны Уральского региона.

### Методы и материалы

Для постановки задачи использованы положения теории оптимального проектирования, теории проектирования автомобильных лесных дорог, материалы экспериментальных исследований, которые проводились согласно требованиям нормативно-технической документации по строительству автомобильных дорог, действующих на 01.02.2022 г. [9, 17]. Также использовалось оборудование, сертифицированное в системе «Росдорстройсертификация» для определения физико-механических свойств строительных материалов [11]. В экспериментальных исследованиях были использованы методы обработки статистических данных. Расчетная программа для выполнения оптимального проектирования разработана на языке PHP и в дальнейшем может быть использована как Web-приложение.

### Результаты. Постановка задачи в общем виде

Общие требования и конструктивные решения дорожной одежды различного типа и назначения дорог изложены в работах [3,9,10]. Для лесовозных дорог варианты конструктивных решений приведены в работах [7,9].

В предварительных исследованиях [2,8,9], нами было обосновано использование дорожно-строительного материала из вермикулита или отходов его термической обработки. Как показано в работе [2] для формирования морозозащитного слоя дорожной одежды необходимо сформировать технологический слой из грунтовермикулитового материала. Схема предлагаемой многослойной конструкции дорожной одежды лесовозной дороги показана на рисунке 1.

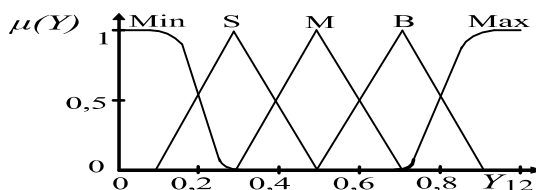


Рис. 1. Схема рассматриваемой многослойной конструкции дорожной одежды лесовозной дороги: 1 – дорожное покрытие; 2 – грунтовермикулитовый морозозащитный слой; 3 – грунт земляного полотна

Предложенная конструкция дорожной одежды лесовозной дороги характеризуется рядом конструктивных параметров, которые могут быть различными в зависимости от физико-механических свойств и геометрических параметров слоев. Для формирования конструкций дорожных одежд лесовозных дорог с наилучшими значениями основных параметров, нужно подобрать геометрические параметры слоев, т.е. выполнить ее оптимизацию. В теоретическом плане в этом случае необходимо выполнить постановку задачи оптимального проектирования дорожной одежды.

В общем случае при оптимизации вновь создаваемых конструкций дорожных одежд для лесовозных дорог должны удовлетворяться экологические, экономические, технические требования. Это существенно усложняет задачу и выработать единый критерий, который бы учитывал все показатели, не представляется возможным. Возможно решать ее поэтапно, по каждому критерию последовательно, что достаточно сложно и возможны накопления ошибок к завершающему этапу.

В нашем случае, при проектировании дорожной одежды лесовозной дороги возникла задача технического требования – обеспечить ее наибольшее термическое сопротивление, с целью исключения зимнего морозного пучения и формирования необходимых транспортно-эксплуатационных характеристик.

В общем виде эту задачу можно представить следующим образом. Конструктивная схема (рис. 1) характеризуется параметрами  $U_i - U_1, U_2, \dots, U_n$ , от которых зависит величина суммарного термического сопротивления и модуль упругости конструкции.

При этом к параметрам конструкции предъявляются определенные требования  $C_j - C_1, C_2, \dots, C_m$ .

Таким образом, в задаче оптимизации конструкции дорожного покрытия необходимо учесть

термическое сопротивление конструкции  $R_t$ , т.е. суммарное термическое сопротивление всех конструктивных слоев – подстилающего, теплоизоляционного, дорожного покрытия (рис. 1).

Однако конструкция испытывает и ряд других воздействий, в первую очередь, механические подвижные нагрузки от лесовозного подвижного состава. Устойчивость от механических нагрузок в конструкции можно определить физическим параметром – модулем упругости  $E_{\text{общ}}$ . Оба параметра в данном случае рассчитываются как для многослойной конструкции с последовательным расположением конструктивных слоев. Как термическое сопротивление, так и модуль упругости будут зависеть от физико-механических параметров конструктивных слоев – это от коэффициентов теплопроводности  $\lambda_i$  конструктивных слоев дорожной одежды и модуля упругости  $E_i$  каждого  $i$ -го конструктивного слоя. На толщину конструктивных слоев накладываются нормативно-технические требования, а термическое сопротивление и физико-механические параметры определены собственными техническими характеристиками по техническим условиям производителей.

Отсюда в общем виде задача оптимизации конструктивных параметров дорожной одежды будет заключаться в выборе таких параметров конструктивных слоев, при которых суммарные значения термического сопротивления  $R_t$  и модуля упругости  $E_{\text{общ}}$  будут максимальными.

### Формирование целевой функции

В нашем случае нормативные требования для лесовозных дорог с заданным типом дорожной одежды (СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства) будут обеспечены при условии, что общий модуль упругости на покрытии дорожной одежды  $E_{\text{общ}}$ , состоящей из нескольких конструктивных слоев, рассчитывается по следующему выражению [7,13,15]:

$$E_{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i}, \quad (1)$$

где  $E_i$  – модуль упругости конструктивного слоя, МПа;  $h_i$  – толщина конструктивного слоя дорожной одежды, м.

Нормативные значения для морозозащитных слоев дорожных одежд составляет не менее 15 см, а термическое сопротивление, для условий Свердловской области от 2,1 до 2,6 м<sup>2</sup>К/Вт (при нормативном значении от 2,7 до 2,9) и определяется по формуле:

$$R_t = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha} \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности конструктивного слоя дорожной одежды (для асфальтобетонных от 0,981 до 1,623 [6]; для грунтовермикулитовых слоев от 0,065 до 1,652; для грунтов от 1,6 до 1,8 (Вт/м<sup>2</sup> К);  $\alpha$  – поправочный коэффициент местности, в случае условий; Свердловской области  $1/\alpha = 0,04$  м<sup>2</sup>К / Вт.

Примем, что для условий Свердловской области и Северного Урала наименьшее значение термического сопротивления дорожной одежды, по условию обеспеченности от зимнего морозного пучения  $R_t$  составит равным 2,12 Вт/м<sup>2</sup> К.

Хотелось бы отметить, что частные показатели – коэффициент теплопроводности конструктивного слоя  $\lambda_i$  и модуль упругости  $E_i$  являются взаимно противоречивыми. Т.е. уменьшение теплопроводности может приводить к снижению модуля упругости [4,5]. Поскольку в теплоизоляционных материалах чем более пористая или волокнистая структура, тем ниже теплопроводность материала, что одновременно приводит к снижению его прочности. Для учета этого фактора будут предусмотрены ограничения на физико-механические и конструктивные параметры слоев конструкции. Однако для решения задачи оптимизации этого недостаточно, поэтому воспользуемся методом формирования обобщенного показателя эффективности.

Обобщенный показатель эффективности представляет из себя сумму частных показателей. Поскольку частные показатели имеют различную физическую природу и размерности, то они приводятся к безразмерному виду и нормируются, т.е. преобразуются до величины от 0 до 1. Для учета вклада каждого частного показателя для них используются весовые коэффициенты, которые также нормируются таким образом, чтобы сумма коэффициентов была равна единице. Нормирование частных показателей выполняется по формуле:

$$M = \frac{(P - P^{\min})}{(P^{\max} - P^{\min})}, \quad (3)$$

где  $M$  – частный показатель;  $P$  – текущее значение частного показателя;  $P^{\min}$  – минимальное значение частного показателя;  $P^{\max}$  – максимальное значение частного показателя.

Минимальные и максимальные значения определяются на первом шаге оптимизации. Для этого можно прогнать расчеты целевой функции, например, методом покоординатного спуска по всем диапазоном и найти эти значения.

Для задания приоритета частным показателям используем весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты в данном случае  $K_1$  и  $K_2$ , при каждом частном показателе определяются пользователем, например, методом экспертных оценок и таким образом задаются их приоритеты.

Указанным способом разработанный обобщенный показатель эффективности  $F$ , который в данном случае соответствует целевой функции, будет иметь вид

$$F = K_1(R_t - R_t^{\min})/(R_t^{\max} - R_t^{\min}) + K_2(E_{\text{общ}} - E_{\text{общ}}^{\min})/(E_{\text{общ}}^{\max} - E_{\text{общ}}^{\min}), \quad (4)$$

где  $R_t^{\min}$ ,  $E_{\text{общ}}^{\min}$  и  $R_t^{\max}$ ,  $E_{\text{общ}}^{\max}$  – минимальные и максимальные значения частных показателей, соответственно термического сопротивления и модуля упругости многослойной конструкции.

### Определение вектора управляющих параметров

В многослойной конструкции дорожной одежды эксплуатационные выходные параметры зависят, в первую очередь, от толщины конструктивных слоев и их физико-механических характеристик. Поскольку основные марки, типы материалов в данном случае не варьируются, то изменяемыми переменными принимаются толщины слоев. Отсюда вектор управляющих параметров  $U$  будет иметь следующий вид:

$$U = [U_1, U_2, U_3], \quad (5)$$

где  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  – толщина, соответственно, верхнего слоя покрытия, слоя грунтовемикулитового материала, грунта земляного полотна.

### Задание ограничений управляющих параметров

Ограничения предусматриваются как на геометрические размеры, толщину, так и на термическое сопротивление каждого  $i$ -го конструктивного слоя.

При проектировании лесовозных автомобильных дорог основные показатели определяются согласно нормативно-техническим документам. В настоящее время статус действующих имеют: СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства (с Изменением N 1) Официальное издание; СП 243.1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения; СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\*; СП 313.1325800.2017 Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства.

Взяв за основной показатель  $E_{\text{общ}}$  – нормативный модуль упругости для лесовозной дороги имеем, для дорожных одежд облегченного типа (с асфальтобетоном) – не менее 100 МПа, для дорожных одежд переходного типа – не менее 80 МПа, для лесохозяйственных автомобильных дорог – не менее 65 МПа.

Модуль упругости конструктивного слоя. Для асфальтобетона  $E_i$  – от 2000 до 2400 МПа, для грунтовемикулитового слоя от 150 до 300 МПа, для грунта земляного полотна не менее 45 МПа.

Таким образом, для частных показателей, входящих в целевую функцию, будут предусмотрены следующие ограничения:  $E_{\text{общ}}^{\min} = 80$  МПа,  $E_{\text{общ}}^{\max} = 120$  МПа;  $R_t^{\min} = 2,04$  Вт/м<sup>2</sup>К,  $R_t^{\max} = 2,23$  Вт/м<sup>2</sup>К.

### Формальная запись постановки задачи оптимизации

С учетом выражений (1)-(3) формально задача оптимального проектирования конструкции дорожной одежды лесовозной дороги будет иметь вид:

$$F(U) \rightarrow \max, U \in L,$$

где  $L$  – область допустимых значений управляющих параметров при ограничениях:

Толщина верхнего слоя покрытия:

$$U_1^{\min} = 0,03 \text{ м};$$

$$U_1^{\max} = 0,06 \text{ м}.$$

Толщина слоя грунтовермикулитового материала:

$$U_2^{\min} = 0,15 \text{ м};$$

$$U_2^{\max} = 0,50 \text{ м}.$$

Толщина земляного полотна:

$$U_3^{\min} = 0,60 \text{ м};$$

$$U_3^{\max} = 1,25 \text{ м}.$$

Термическое сопротивление конструкции:

$$R_t^{\min} = 2,04 \text{ Вт/м}^2 \text{ К};$$

$$R_t^{\max} = 2,23 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}.$$

Модуль упругости дорожной одежды:

$$E_{\text{общ}}^{\min} = 80 \text{ МПа};$$

$$E_{\text{общ}}^{\max} = 120 \text{ МПа}.$$

Или

$$0,03 \leq U_1 \leq 0,06 \text{ (м)}; \quad (6)$$

$$0,15 \leq U_2 \leq 0,50 \text{ (м)}; \quad (7)$$

$$0,60 \leq U_3 \leq 1,25 \text{ (м)}; \quad (8)$$

$$2,04 \leq R_t \leq 2,23 \text{ (м}^2 \text{ К /Вт)}; \quad (9)$$

$$80 \leq E_{\text{общ}} \leq 120 \text{ (МПа)}. \quad (10)$$

В терминах нелинейного программирования задача звучит следующим образом: в области допустимых значений  $L$  следует найти вектор управляющих параметров  $U$  (5), удовлетворяющий ограничениям (6)-(10) и обеспечивающий максимум целевой функции  $F$  (4).

### Разработка алгоритма оптимизации

Для решения задачи оптимизации был разработан алгоритм с использованием метода случайного поиска. Схема алгоритма приведена на рисунке 2.

Особенность предлагаемого алгоритма в том, что он разработан в общем виде для любого количества (в рассматриваемых задачах) варьируемых параметров и ограничений. Целевая функция, как и формулы для ограничений, прописываются для каждой конкретной задачи. Таким образом, предложенный алгоритм может использоваться для большинства задач при исследованиях и проектировании конструкций дорожной одежды [14,16].

Для реализации алгоритма поиска оптимального решения в программе использован язык программирования PHP, HTML, CSS. Преимущество такого исполнения заключается в том, что программа может быть использована как приложение на веб-сайте.

При работе с программой вводится количество варьируемых параметров, диапазоны их значений, прописываются аналитические выражения ограничений и целевой функции. Программа при выполнении расчетов собирает в рабочей области результаты, и выбирает по критерию оптимизации наилучший набор варьируемых значений. В приведенном виде программа универсальна и может использоваться в качестве процедуры для аналогичных задач. С учетом этого программа зарегистрирована в ФИПС [8].

### Результаты оптимизации

Расчеты оптимальных параметров конструкции для различных вариантов приоритета частных критериев выполнялись по разработанной программе. Наиболее приемлемым компромиссом будет задание равных весовых критериев 0,5, что минимизирует противоречие между критериями. При необходимости придать специфические свойства конструкции в процессе проектирования задаются соответствующие весовые коэффициенты. Результаты расчетов параметров по программе оптимизации с равным весовыми коэффициентами сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты оптимизации дорожной одежды

| Наименование параметра                                                       | Варианты |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                              | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Расчетный модуль упругости дорожной одежды, $E$ , МПа                        | 92       | 113   | 91    | 102   | 115   |
| Общее термическое сопротивление дорожной одежды, $R_t$ , м <sup>2</sup> К/Вт | 2,05     | 2,19  | 2,14  | 2,12  | 2,04  |
| Толщина дорожного покрытия, см                                               | 4        | 3     | 4     | 3     | 5     |
| Толщина грунтовермикулитового слоя, см                                       | 18       | 44    | 21    | 35    | 41    |
| Толщина рабочего слоя земляного полотна земляного полотна, м                 | 1,59     | 1,62  | 1,30  | 1,55  | 0,76  |
| Обобщенный показатель эффективности, $F$                                     | 0,506    | 0,409 | 0,728 | 0,659 | 0,532 |

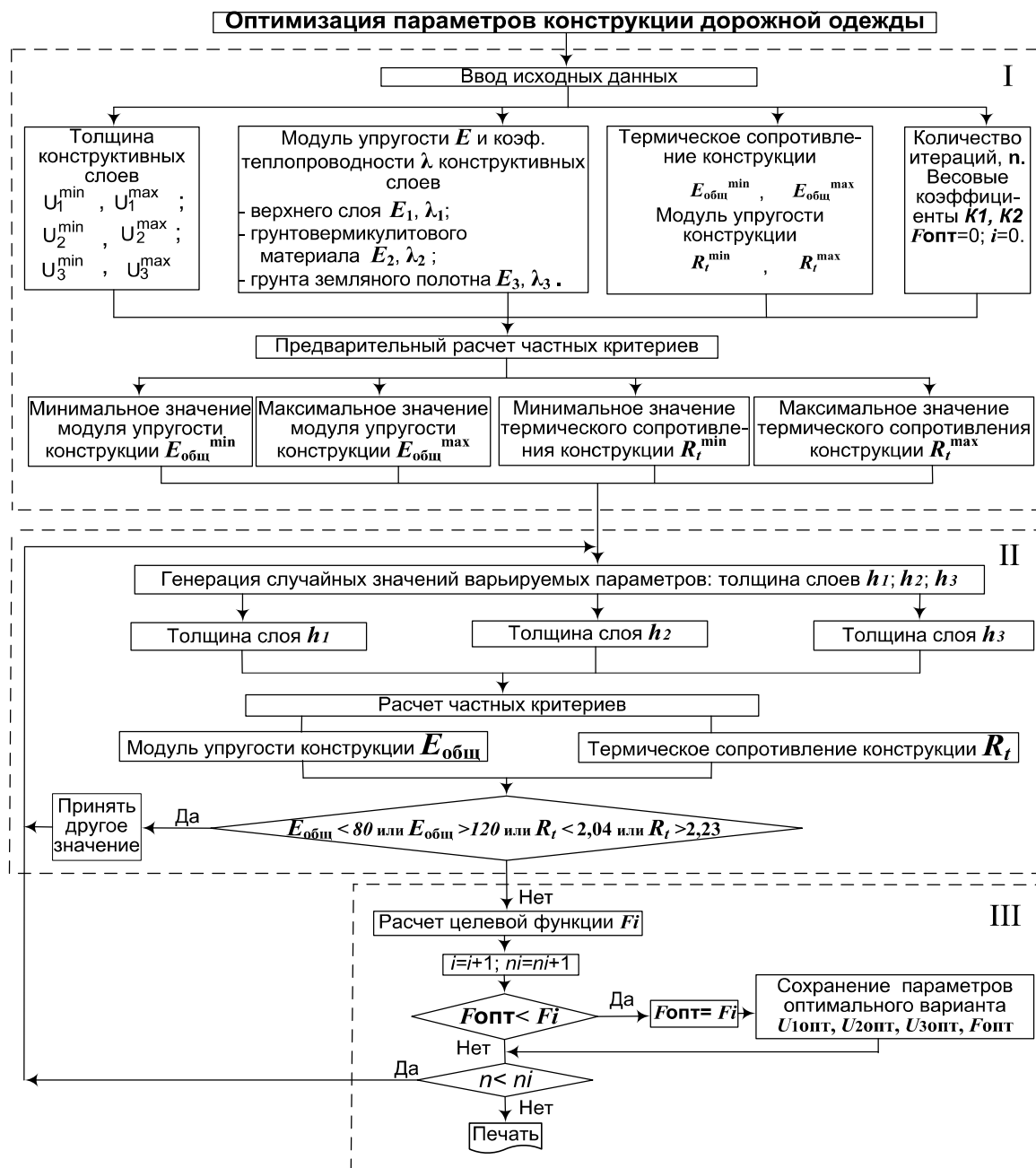


Рис. 2. Схема алгоритма поиска оптимальных параметров конструкции дорожной одежды: I – модуль формирования исходных данных; II – модуль поиска оптимального решения; III – формирование и вывод результатов

### Литература

1. Алексиков С. В. Проектирование оптимальных дорожных одежд из местных материалов в условиях юга РФ [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. В. Алексиков, И. С. Алексиков, Д. Н. Симончук; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015.
2. Ахтямов Э.Р. Разработка требований к применению добавок из вспученного вермикулита для строительства лесовозных дорог на территориях Северного, Приполярного и Полярного Урала [Текст] / Э.Р. Ахтямов, И.Н. Кручинин, В.В. Побединский, Е.И. Кручинина, А.А. Чижов. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2022. - № 1. – С.3-10.
3. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев // Учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – Ч.1. – 368 с.
4. Горелик В.А. Исследование операций и методы оптимизации: Учебник / В.А. Горелик. - М.: Academia, 2018. - 384 с.
5. Измаилов А.Ф. Численные методы оптимизации / А.Ф. Измаилов, М.В. Солодов. - М.: Физматлит, 2008. - 320 с.
6. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. - 213 с.
7. Савельев В.В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог: Дис... докт. техн. наук. / МарГТУ, науч. консультант Ю.А. Ширнин. – Йошкар-Ола, 2006.- 516 с.: ил. – библиограф С.296 -319.
8. Свид. о рег. программы для ЭВМ № 2022616417. Программа оптимизации параметров конструкции лесовозной дороги с морозозащитным слоем / В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, С.В. Ченушкина, Э.Р. Ахтямов. Заявка № 2022614372, дата поступления 24 марта 2022 г., дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 апреля 2022 г.
9. Сухопутный транспорт леса / В.И. Алябьев, Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин, Г.Ф. Грехов. - М.: Лесн.пром-сть, 1990. – 416 с.
10. Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2005) Towards Automated Total Process in Road Construction. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 71 – 82.
11. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.
12. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskienė, Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.
13. Maksimichev O.I. / Automation and Control in Technical Systems (ACTS) 2015, No 1, pp. 80-91.
14. Ostroukh A.V., Tian Yu. Development of the information and analytical monitoring system of technological processes of the automobile industry enterprise // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. No 1. pp. 92-102.
15. Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Research and Technology, Jan. –2011. – Vol.4. – No.1. – P. 56–66.
16. Splittmastixasphalt / Dr. Ing. K.H. Kolb, die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere; LEITFADEN. DeutscherAsphaltverband (DAV). – 27 p.
17. Wearing Course Material, Transport Research Laboratory Project Report 65.

---

© **Побединский В.В.** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: pobed@el.ru; **Кручинин И.Н.** – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Ченушкина С.В.** – ст. препод. кафедры интеллектуальных систем, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: chenushkinasv@m.usfeu.ru; **Иовлев Г.А.** – канд. эконом. наук, зав. каф. сервиса транспортных и технологических машин АПК ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «УГАУ»), e-mail: gri-iovlev@yandex.ru; **Ахтямов Э.Р.** – главный технолог ООО «Дорожно-строительная компания «УРАЛ», г. Челябинск, e-mail: ra@7359808.ru.

UDC 625.852

# OPTIMAL DESIGN OF THE PARAMETERS OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF THE PAVEMENT WITH A FROST-PROTECTIVE LAYER

V.V. Pobedinsky, I.N. Kruchinin, S.V. Chenushkina, G.A. Iovlev, E.R. Akhtyamov

*The problem of improving forest roads by using the method of optimal design of the parameters of the multilayer structure of the road pavement of a forest road with a frost-protective layer of expanded vermiculite is considered. The limitations of existing design methods, as well as the lack of certainty of approaches to the calculation of multilayer structures, with a frost-protective layer, do not allow solving this problem correctly enough. Thus, the purpose of the research work was determined, which was to develop a problem statement for the optimal design of the parameters of a multilayer pavement structure with a frost-protective layer and to calculate the optimal parameters for the conditions of the Ural climatic region. The following tasks were solved in the work: 1) statement of the problem in general form; 2) formation of the optimality criterion (objective function); 3) determination of the vector of control parameters; 4) setting restrictions; 5) development of an algorithm for finding the optimal solution and its implementation in a computer program in the PHP language; 6) calculation of the optimal design parameters of a logging road with a frost-protective layer for the climatic zone of the Ural region. The results of the work were the proposed formulation of the problem of optimal design of the pavement structure, an optimization algorithm and an applied computer program for the design of logging roads. The program can be recommended for use in the practice of designing logging roads.*

**Key words:** forest roads, pavement with a frost-protective layer, optimal design of pavement.

## References

1. Aleksikov S. V. [Designing optimal pavement from local materials in the conditions of the south of the Russian Federation] [Electronic resource]: tutorial / S. V. Aleksikov, I. S. Aleksikov, D. N. Simonchuk; Ministry of Education and Science Ros. Federation, Volgograd. state architect.-builds. un-t. - Volgograd: VolgGASU, 2015.- 125 p. (InRuss.)
2. Akhtyamov E.R. [Development of requirements for the use of additives from expanded vermiculite for the construction of logging roads in the territories of the Northern, Subpolar and Polar Urals] / E.R. Akhtyamov, I.N. Kruchinin, V.V. Pobedinsky, E.I. Kruchinina, A.A. Chizhov. // «Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost» [Woodworking industry]. - 2022. - No. 1. - P.3-1 (InRuss.)
3. Babkov V.F. [Design of highways] / V.F. Babkov, O.V. Andreev // Uchebnik dlya vuzov [Textbook for universities]. – Izd. 2-ye, pererab. i dop. – M.: Transport, 1987. - Part 1. – 368 p. (InRuss.)
4. Gorelik V.A. [Operations Research and Optimization Methods]: «Uchebnik» [Textbook] / V.A. Gorelik. - M.: Academia, 2018. - 384 p. (InRuss.)
5. Izmailov A.F. [Numerical optimization methods] / A.F. Izmailov, M.V. Solodov. - M.: Fiz-matlit [Fizmatlit], 2008. - 320 p. (InRuss.)
6. Rudensky A.V. [Road asphalt coatings] / A.V. Rudensky. - M.: Transport, 1992. - 213 p. (InRuss.)
7. Saveliev V.V. [Substantiation of the type and design of clothes for logging roads]: Dis ... doctoral. tech. Sciences. / MarGTU, scientific. consultant Yu.A. Shirnin. - Yoshkar-Ola, 2006. - 516 p.: ill. (InRuss.)
8. Certificate. about reg. computer programs No. 2022616417. [The program for optimizing the design parameters of a timber road with a frost-protective layer] / V.V. Pobedinsky, I.N. Kruchinin, S.V. Chenushkina, E.R. Akhtyamov. Application No. 2022614372, date of receipt March 24, 2022, date of state registration in the Register of Computer Programs April 08, 2022. (InRuss.)
9. [Overland transport of forests] / V.I. Alyabiev, B.A. Ilyin, B.I. Kuvaldin, G.F. Grekhov. - M.: Lesn.prom-st [Timber industry], 1990. - 416 p. (InRuss.)
10. Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2005) Towards Automated Total Process in Road Construction. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 71 – 82.
11. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.

12. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskien D Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.

13. Maksimichev O.I. / Automation and Control in Technical Systems (ACTS) 2015, No 1, pp. 80-91.

14. Ostroukh A.V., Tian Yu. Development of the information and analytical monitoring system of technological processes of the automobile industry enterprise // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. No 1. pp. 92-102.

15. Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Re-search and Technology, Jan. –2011. – Vol.4. – No.1. – P. 56–66.

16. Splittmastixasphalt / Dr. Ing. K.H. Kolb, die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere; LEITFADEN. DeutscherAsphaltverband (DAV). – 27 p.

17. Wearing Course Material, Transport Research Laboratory Project Report 65.

© **Pobedinsky V.V.** – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Intelligent Systems, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: pobed@e1.ru; **Kruchinin I.N.** – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Transport and Road Construction, USFEU, e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Chenushkina S.V.** – Lecturer, Department of Intelligent Systems, USFEU, e-mail: chenushkinasv@m.usfeu.ru; **Iovlev G.A.** – PhD in Economics Sciences, Head of the Department of Service of Transport and Technological machines of the Agroindustrial Complex of the Ural State Agrarian University, e-mail: gri-iovlev@yandex.ru; **Akhtyamov E.R.** – Chief Technologist of LLC «Road Construction Company URAL», e-mail: ra@7359808.ru.

#### Уважаемые авторы журнала!!!

Все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «**Введение**», «**Методы и материалы**», «**Результаты**», «**Заключение**», «**Литература**».

Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «**Введение**», «**Обзор исследований в области...**», «**Заключение**», «**Литература**».

Рабочие языки журнала — русский и английский.

Одноколоночный макет журнала.

#### Параметры страницы:

- верх — 3 см;
- низ — 2,5 см;
- левое поле — 1,8 см;
- правое поле — 1,8 см;

Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал (ключевые слова аннотации оформляются кеглем 10). Абзац — 0,75 см.

#### Размер рисунков:

- ширина — не более 17,5 см;
- высота — не более 12 см;

Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Рис. 1.Название рисунка**). Цвет рисунка - черно-белый. Рисунки должны быть качественными, сканированные картинки не принимаются!

**Размер таблицы** не должен превышать 17,5 x 12 см.

Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Таблица 1 - Название таблицы**)

**Формулы**, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну колонку, то есть иметь размер не более чем 8,5 x 5 см (шрифт «Times New Roman»).

*Образец оформления статьи указан в конце журнала.*