

УДК 519.873:004.023

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Тайлакова Анна Александровна¹

аспирант, ст. преподаватель, e-mail: knopka.anyu@mail.ru

Пимонов Александр Григорьевич^{1,2},

доктор техн. наук, профессор, научн. сотр., e-mail: pag_vt@kuzstu.ru

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630000, Россия, г. Новосибирск, просп. Лаврентьева, 17

Аннотация

В статье рассмотрены предложенные оптимизационные модели расчета конструкции нежестких дорожных одежд, построенные с учетом требований, приведенных в ОДН 218.046-01.

Предложены два метода для решения задачи подбора оптимальной по стоимости конструкции нежестких дорожных одежд: метод подбор конструкции путем варьирования толщин конструктивных слоев и метод подбора конструкции путем варьирования материалов конструктивных слоев.

Обосновано применение генетических алгоритмов для решения оптимизационной задачи расчета конструкции нежестких дорожных одежд на основе сравнения их эффективности с эффективностью градиентных и переборных методов. Кроме того, генетические алгоритмы позволяют при решении такого рода задач учитывать как линейные, так и нелинейные ограничения.

Приведены методика и результаты оцифровки и представления номограмм и графиков, используемых для расчета конструкции нежестких дорожных одежд в соответствии с ОДН 218.046-01, в виде вспомогательных таблиц и систем уравнений, полученных с помощью метода наименьших квадратов.

Ключевые слова: эвристика, генетический алгоритм, оптимизационная модель, нежесткие дорожные одежды, номограммы, оцифровка, подбор тенденций.

Введение

Дорожная одежда – конструкция проезжей части, устраиваемая на земляном полотне в виде одного или нескольких слоев из различных материалов с целью создания оптимальных условий для движения автомобилей [1]. Она воспринимает нагрузку от транспортных средств и передает ее на грунтовое основание или подстилающий грунт. Конструкция дорожной одежды, как и любое инженерное сооружение, должна быть достаточно надежной и соответствовать определенным эксплуатационным требованиям.

Дорожные одежды являются одним из наиболее дорогих элементов автомобильных дорог, их экономичность в значительной степени определяет строительную стоимость объекта в целом и эффективность капиталовложений [2].

Проектирование дорожных одежд

В настоящее время на территории Российской Федерации в качестве нормативного документа, регламентирующего метод расчета нежестких дорожных одежд, приняты ОДН 218.046-01 [3] (отраслевые дорожные нормы).

Документ [3] содержит указания по проектированию и расчету нежестких дорожных одежд автомобильных дорог общего пользования. ОДН применимы для проектирования вновь сооружаемых

дорожных одежд, новых участков реконструируемых дорог, разработки альбомов типовых конструкций, а также могут использоваться при оценке прочности и при проектировании усиления дорожных одежд существующих дорог. Эти нормы предназначены для работников системы дорожного хозяйства.

Проектирование дорожной одежды представляет собой единый процесс конструирования и расчета дорожной конструкции на прочность, морозоустойчивость с технико-экономическим обоснованием вариантов с целью выбора наиболее экономичного в данных условиях [3].

Дорожную одежду следует проектировать с требуемым уровнем надежности, под которой понимают вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода. Отказ конструкции по прочности физически может характеризоваться образованием продольной и поперечной неровности поверхности дорожной одежды, связанной с прочностью конструкции (поперечные неровности, колея, усталостные трещины), с последующим развитием других видов деформаций и разрушений (частые трещины, сетка трещин, выбоины, просадки, проломы и т. д.) [3].

В грунте и слабо-связных материалах не должны возникать остаточные деформации, вы-

званные пластическими смещениями. Сдвиг в грунте земляного полотна не возникнет, если:

$$K_{np} \leq T_{\text{дон}} / T \quad (1)$$

где K_{np} – коэффициент прочности, определяемый с учетом заданного уровня надежности;

$T_{\text{дон}}$ – допустимое напряжение сдвига, обусловленное сцеплением в грунте;

T – активное напряжение сдвига в грунте или слабо-связном материале [4].

Напряжения, возникающие в монолитных слоях под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны приводить к образованию трещин. Для этого должно быть обеспечено следующее условие:

$$K_{np} \leq R_{\text{дон}} / \sigma_r \quad (2)$$

где $R_{\text{дон}}$ – предельное допустимое растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений;

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, найденное путем расчета [4].

Упругий прогиб поверхности покрытия от колеса расчетного автомобиля не должен превосходить некоторого нормированного значения. Это условие удовлетворяется, если:

$$K_{np} \leq E_{TP} / E_{\text{общ}} \quad (3)$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости конструкции, МПа;

E_{TP} – требуемый модуль упругости конструкции с учетом капитальности одежды и интенсивности воздействия нагрузки, МПа [4].

В районах сезонного промерзания грунтов земляного полотна при неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях, наряду с требуемой прочностью и устойчивостью должна быть обеспечена достаточная морозоустойчивость дорожных одежд. Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие:

$$I_{\text{пуч}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где $I_{\text{пуч}}$ – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;

$I_{\text{доп}}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта [3].

Стоимость конструкции нежесткой дорожной одежды складывается из расходов на строительство и стоимости материалов конструктивных слоев. Общую стоимость используемых материалов можно определить по формуле [4]:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i h_i, \quad (5)$$

где S – общая стоимость материалов конструктивных слоев;

h_i – толщина i -го конструктивного слоя;

S_i – стоимость 1 м² материала;

n – количество конструктивных слоев.

При неавтоматизированном, традиционном проектировании конструкция дорожной одежды

обычно назначается по типовому проекту, а расчет ее сводится главным образом к определению толщины дополнительного слоя основания.

В результате применения автоматизированного проектирования дорожных одежд достигаются следующие экономические эффекты.

1) Ускорение процесса проектирования и снижение стоимости проектных работ.

2) Исключение ошибок в расчетах. В результате расчета традиционным способом могут быть допущены ошибки, что приводит к снижению степени надежности дорожной одежды. В результате такие конструкции требуют ремонта значительно раньше нормативного срока.

3) Снижение стоимости строительства дорожных одежд. Дорожные одежды составляют наиболее весомую часть стоимости автомобильных дорог, применение элементарных оптимизационных программ при проектировании дорожной одежды позволяет при обеспечении их прочности снизить стоимость строительства автомобильных дорог от 3 до 10 % [5].

Оптимизационные модели

Согласно ОДН, задача расчета конструкции нежестких дорожных одежд сводится к подбору толщин слоев одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или к выбору материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев [3].

Таким образом, могут быть предложены две оптимизационные модели для решения задачи подбора конструкции нежестких дорожных одежд:

4) подбор конструкции путем варьирования толщин конструктивных слоев;

5) подбор конструкции путем варьирования материалов конструктивных слоев.

Для подбора конструкции путем варьирования толщин конструктивных слоев можем описать конструкцию нежесткой дорожной одежды следующей системой нелинейных неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1(h_1, h_2, \dots, h_n) \geq k_1 \\ f_2(h_1, h_2, \dots, h_n) \geq k_2 \\ f_3(h_1, h_2, \dots, h_n) \geq k_3 \\ f_4(h_1, h_2, \dots, h_n) \geq k_4 \\ h_i > h_{\text{min}_i} \\ n > 3 \end{array} \right. , \quad (6)$$

Минимизировать $S(h_1, h_2, \dots, h_n)$

где k_1 – коэффициент прочности, по условию сдвигаустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев (1);

$f_i(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – отношение допустимого напряжения сдвига к активному напряжению сдвига $T_{\text{дон}} / T$;

k_2 – коэффициент прочности, по условию сопротивления монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе необходи-

мо выполнение (2);

$f_2(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – отношение предельного допустимого растягивающего напряжения к наибольшему растягивающему напряжению в рассматриваемом слое $R_{\text{дон}} / \sigma_r$;

k_3 – коэффициент прочности, по условию для упругого прогиба (3);

$f_3(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – отношение требуемого модуля упругости конструкции к общему модулю упругости $E_{\text{ТР}} / E_{\text{общ}}$;

k_4 – допускаемое для данной конструкции пучение грунта (4);

$f_4(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;

$S(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – общая стоимость материалов конструктивных слоев (5);

h_i – толщина i -го конструктивного слоя;
 $h_{\text{min}i}$ – минимальная толщина i -го конструктивного слоя;

n – количество конструктивных слоев дорожной одежды.

Для подбора конструкции путем варьирования материалов конструктивных слоев на основании приведенных выше требований ОДН можно описать конструкцию нежесткой дорожной одежды следующей системой нелинейных неравенств:

$$\begin{cases} f_1(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n) \geq k_1 \\ f_2(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n) \geq k_2 \\ f_3(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n) \geq k_3 \\ f_4(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n) \geq k_4 \\ h_i > h_{\text{min}i} \\ n > 3 \end{cases} \quad (7)$$

Минимизировать

$$S(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n)$$

где $f_1(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n)$ – отношение допустимого напряжения сдвига к активному напряжению сдвига $T_{\text{дон}} / T$;

$f_2(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n)$ – отношение предельного допустимого растягивающего напряжения к наибольшему растягивающему напряжению в рассматриваемом слое $R_{\text{дон}} / \sigma_r$;

$f_3(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n)$ – отношение требуемого модуля упругости конструкции к общему модулю упругости $E_{\text{ТР}} / E_{\text{общ}}$;

$f_4(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n)$ – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;

$S(h_1, \text{type}_1, h_2, \text{type}_2, \dots, h_n, \text{type}_n)$ – общая стоимость материалов конструктивных слоев (5).

Оцифровка и представление номограмм

Для определения напряжений и деформаций, входящих в выражения (1) – (3), используют решения задач теории упругости для слоистых сред с корректировкой их по условиям сопряжения слоев на контактах и по принятому методу приведения многослойной системы к двуслойной. В связи с этим решения задач теории упругости для многослойных сред со спаянными или скользящими

контактами между слоями для непосредственных вычислений напряжений и деформаций не применимы. В этом случае следует использовать приведенные в ОДН номограммы (рис. 1), построенные по решению задач теории упругости для модели многослойной среды [4]. Так как необходимо автоматическое обращение программной системы в процессе расчета к номограммам, приведенным в ОДН, потребовалось перевести эти данные в цифровое представление.

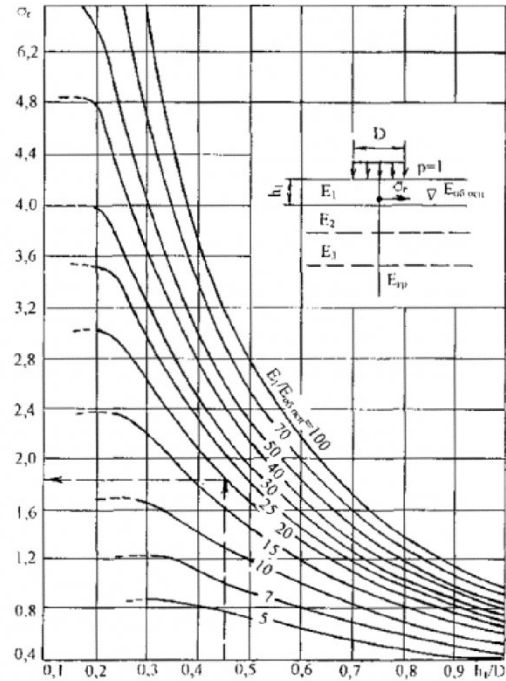


Рис. 1. Номограмма для определения растягивающего напряжения при изгибе

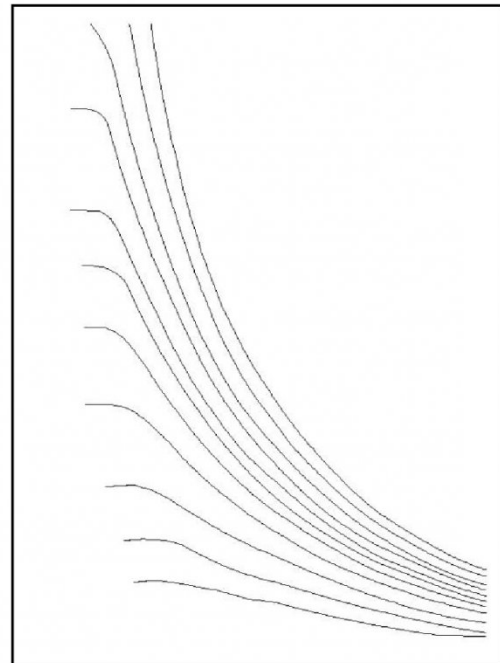


Рис. 2. Бинарное изображение, полученное в графическом редакторе

Оцифровка номограмм проводилась в несколько этапов:

1) в результате предварительной обработки каждой номограммы в графическом редакторе были получены бинарные изображения отдельных линий номограммы (рис. 2), удалены визуальный шум и вспомогательные линии (сетка, легенда, оси координат);

2) с использованием разработанной подсистемы обработки графической информации [6] получены координаты отдельных точек номограмм (путем построчного сканирования изображения с заданным интервалом найдены точки черного цвета);

3) на основе полученных вспомогательных таблиц с помощью кусочно-линейной аппроксимации можно производить любые расчеты по номограммам в любой программной среде (рис. 3) [7 – 8].

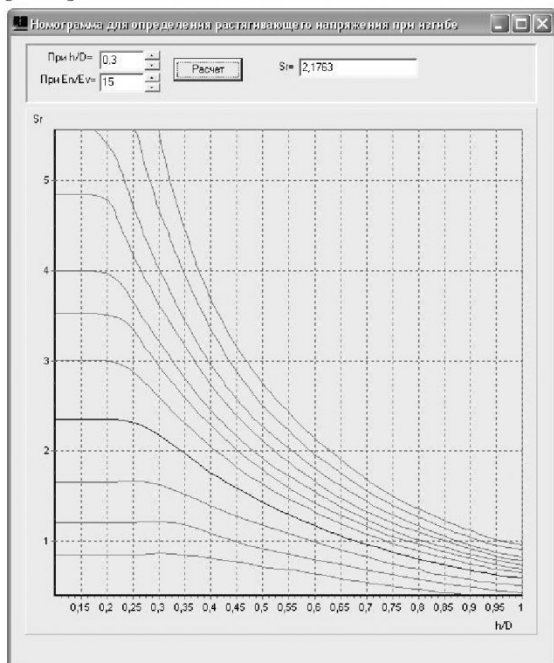


Рис. 3. Результат оцифровки номограммы

Для включения вычислений по номограммам в оптимизационную модель расчета конструкции нежесткой дорожной одежды полученные вспомогательные таблицы были преобразованы в системы уравнений. С помощью системы СТЭК [9] методом наименьших квадратов осуществлен подбор тенденций для зависимостей, представленных в виде номограмм, путем аппроксимации этих данных набором из 18 функций. Так, для номограммы (рис. 1) предложена система уравнений:

$$\begin{aligned} \text{при } 70 < E_v / E_n \leq 100 \quad \sigma_r &= -1.09 + 1.94 / (h_v / D) \\ \text{при } 50 < E_v / E_n \leq 70 \quad \sigma_r &= -0.73 + 1.61 / (h_v / D) \\ \text{при } 7 < E_v / E_n \leq 10 \quad \sigma_r &= 3.98 \exp(-0.36 h_v / D) - 2.4 \\ \text{при } 5 < E_v / E_n \leq 7 \quad \sigma_r &= 1.07 - 0.73 h_v / D \end{aligned} \quad (8)$$

где E_v / E_n – отношение модуля упругости для расчета растяжения на изгибе верхнего слоя к модулю упругости для расчета растяжения на

изгибе нижнего слоя;

h_v / D – отношение суммарной высоты верхних слоев конструкции к диаметру расчетного отпечатка шины;

σ_r – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку, определяемое по номограмме.

Генетические алгоритмы

В связи с нелинейными ограничениями в предложенных оптимизационных моделях невозможно использовать аналитические методы решения. В данном случае целесообразно использовать эвристические алгоритмы.

Эвристическими методами называются логические приемы и методические правила научного исследования и изобретательского творчества, которые способны приводить к цели в условиях неполноты исходной информации и отсутствия четкой программы управления процессом решения задачи [10]. Любая эвристика представляет собой совокупность утверждений, которые позволяют ограничить перебор в поиске решения задачи. В настоящее время разработано и эффективно используется несколько десятков эвристических методов [11].

Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомого параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [12]. Генетический алгоритм (ГА) представляет собой метод оптимизации, основанный на концепциях естественного отбора и генетики. В этом подходе переменные, характеризующие решение, представлены в виде генов в хромосоме. ГА оперирует конечным множеством решений (популяцией) – генерирует новые решения как различные комбинации частей популяции, используя такие операторы, как отбор, рекомбинация (кроссинговер) и мутация. Новые решения позиционируются в популяции в соответствии с их положением на поверхности исследуемой функции [13 – 17].

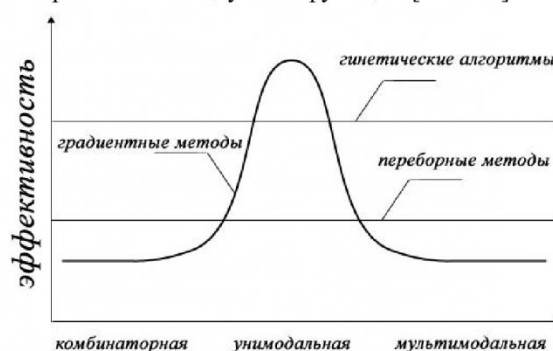


Рис. 4. Сравнение эффективности генетических алгоритмов, градиентных и переборных методов

Генетические алгоритмы – не единственный способ решения задач оптимизации. Кроме него

существуют ещё два основных подхода к решению таких задач – переборный и локально-градиентный.

Переборный метод наиболее прост в программировании. Для поиска оптимального решения (максимума целевой функции) требуется последовательно вычислить значения целевой функции во всех возможных точках, запоминая максимальное из них. Недостатком метода является большая вычислительная сложность: требуется просчитать длины более 10^{30} вариантов путей, что совершенно нереально. Однако, если перебор всех вариантов за разумное время возможен, то найденное решение является оптимальным.

Второй подход основан на методе градиентного спуска. Вначале выбираются некоторые случайные значения параметров, а затем эти значения постепенно изменяют, добиваясь наибольшей скорости роста целевой функции. При достижении локального максимума такой метод останавливается, поэтому для поиска глобального оптимума требуются дополнительные меры. Градиентные методы работают быстро, но не гарантируют оптимальности найденного решения. Они идеальны для применения в так называемых унимодальных задачах, где целевая функция имеет единственный

локальный максимум (он же – глобальный) [13 – 17].

Практические задачи, как правило, мультимодальны и многомерны, т. е., как и в нашем случае, содержат много параметров. Для них не существует универсальных методов, позволяющих достаточно быстро найти абсолютно точные решения. Комбинируя переборный и градиентный методы, можно получить приближенные решения, точность которых будет возрастать с увеличением времени расчета. Генетический алгоритм представляет собой именно такой комбинированный метод. Механизмы скрещивания и мутации в каком-то смысле реализуют переборную часть метода, а отбор лучших решений – градиентный спуск. Такое сочетание обеспечивает устойчиво хорошую эффективность генетического поиска для любых типов оптимизационных задач (рис. 4).

Заключение

Таким образом, используя генетический алгоритм, за разумное время можно получить вариант конструкции нежесткой дорожной одежды, достаточно близкий к оптимальному с точки зрения стоимости материалов и удовлетворяющий требованиям прочности и морозоустойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афиногенов, О. П.* Проектирование нежестких дорожных одежд. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2004. – 130 с.
2. Дорожное хозяйство России, 2008: цифры и факты : справ.-иллюстр. материал / М-во транспорта Рос. Федерации, Федерал. дорож. агентство. – М.: Росавтодор, 2007. – 397 с.
3. Отраслевые дорожные нормы. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Минтранс России. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.
4. Методические рекомендации по автоматизации расчетов дорожных одежд нежесткого типа / Минтрансстрой, Союздорнии. – М., 1988. – 38 с.
5. *Федотов, Г. А.* Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1986. – 317 с.
6. *Тайлакова, А. А.* Информационно-вычислительная система для расчета и оценки стоимости конструкции нежесткой дорожной одежды для автомобильных дорог общего пользования. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013661847; заяв. 30.10.2013.
7. *Тайлакова, А. А.* Автоматизированная система расчета и оценки стоимости конструкции нежесткой дорожной одежды / А. А. Тайлакова, А. Г. Пимонов, М. А. Катасонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – № 5. – С. 98-104.
8. *Тайлакова, А. А.* Комплекс программ для моделирования и расчета оптимальной конструкции нежестких дорожных одежд. Математика, ее приложения и математическое образование: материалы V Международной конференции – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУ, 2014. – С. 307-309.
9. *Тынкевич, М. А.* Статистический анализ данных на компьютере / М. А. Тынкевич, А. Г. Пимонов, А. М. Вайнгауз. – Кемерово: Кузбас.гос.техн.ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2013. – 124 с.
10. *Михелькевич, В. Н.* Основы научно-технического творчества / В. Н. Михелькевич, В. М. Радомский. – М.: Феникс, 2004. – С. 320.
11. Проект ТМ. Технологии мышления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://project-tm.ru/heuristic.html> (дата обращения: 14.05.2015).
12. Словари и энциклопедии на академике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru> (дата обращения: 14.05.2015).
13. *Lakhmi, C.* Martin Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms Industrial Applications / C. Lakhmi, N. M. Jain. – CRC Press, CRC Press LLC, 1998.
14. *Gilad Bracha.* Generics in the java programming language. A good all around description of generics in Java. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://java.sun.com/j2se/1.5/pdf/generics-tutorial.pdf> (дата

обращения: 14.05.2015).

15. Fischer, P. Heuristic Algorithms for NP-Complete Problems Thomas V. Christensen Supervisor / P. Fischer, K. Lyngby // 2007, – IMM-BSc-2007-12.

16. Алгоритмы. Методы. Источники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://algotist.manual.ru/> (дата обращения: 14.05.2015).

17. NeuroProject. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neuroproject.ru/> (дата обращения: 14.05.2015).

Поступило в редакцию 18.04. 2015

OPTIMISING MODELS OF CALCULATION OF THE DESIGN OF NONRIGID ROAD CLOTHES

Tailakova A. A.¹,

Graduate student, Senior lecturer, e-mail: knopka.anyu@mail.ru

Pimonov A. G.^{1,2},

D.Sc (Engineering), Professor, Researcher, e-mail: pag_vt@kuzstu.ru

¹T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university 28, street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia.

²Institute of economics and industrial engineering, Siberian branch of the Russian academy of sciences, 17, avenue Lavrent'eva, Novosibirsk, 630000, Russia.

Abstract

In article the offered optimizing models of calculation of a design of nonrigid road clothes constructed taking into account the requirements provided in ODN 218.046-01 are considered.

Two methods for the solution of a problem of selection of a design of nonrigid road clothes, optimum at cost, are offered: a method selection of a design by a variation of thickness of constructive layers and a design trial and error method by a variation of materials of constructive layers.

Application of genetic algorithms for the solution of an optimizing problem of calculation of a design of nonrigid road clothes on the basis of comparison of their efficiency with efficiency of gradient and reboric methods is proved. Besides, genetic algorithms allow at the solution of such tasks to consider both linear and nonlinear restrictions.

The technique and results of digitization and submission of the nomograms and schedules used for calculation of a design of nonrigid road clothes according to ODN 218.046-01 in the form of auxiliary tables and systems of the equations received by means of a method of the smallest squares are given.

Keywords: heuristics, genetic algorithm, optimizing model, nonrigid road clothes, nomograms, digitization, selection of tendencies

REFERENCES

1. Afinogenov, O. P. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Design of nonrigid road clothes]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2004. 130 p. (rus)
2. Dorozhnoe khozyaystvo Rossii, 2008: tsifry i fakty : sprav.-illyustr. Material [Road economy of Russia, 2008: figures and facts help and illustrative material]. / M-vo transpor-ta Ros. Federatsii, Federal. dorozh. agentstvo. M.: Rosavtodor, 2007. 397 p. (rus)
3. OTRASLEVYE DOROZHNYE NORMY. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Branch road norms. ODN 218.046-01. Design of the nonrigid road clothes]. / Mintrans Rossii. M.: Informavtodor, 2001. 145 p. (rus)
4. Metodicheskie rekomendatsii po avtomatizatsii raschetov dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa [Methodical recommendations about automation of calculations of road clothes of nonrigid type]. / Mintransstroy, Soyuzdornii. M., 1988. 38 p. (rus)
5. Fedotov, G. A. Avtomatizirovannoe proektirovanie avtomobil'nykh dorog [The automated design of highways]. M.: Transport, 1986. 317 p. (rus)
6. Taylakova, A. A. Informatsionno-vychislitel'naya sistema dlya rascheta i otsenki stoimosti konstruktssii nezhestkoy dorozhnoy odezhdy dlya avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya [Information system for calculation and estimation of cost of a design of nonrigid road clothes for public highways]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM no 2013661847; zayav. 30.10.2013.(rus)
7. Taylakova, A. A. Avtomatizirovannaya sistema rascheta i otsenki stoimosti konstruktssii nezhestkoy dorozhnoy odezhdy [The automated system of calculation and estimation of cost of a design of nonrigid road

- clothes]. / A. A. Taylakova, A. G. Pimonov, M. A. Katasonov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass state technical university]. 2009. No 5. pp. 98-104. (rus)
8. Taylakova, A. A. Kompleks programm dlya modelirovaniya i rascheta optimal'noy konstruktsii nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Complex of programs for modeling and calculation of an optimum design of non-rigid road clothes]. Matematika, ee prilozheniya i matematicheskoe obrazovanie: materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii [Mathematics, its appendices and mathematical education: materials V of the International conference]. – Ulan-Ude: Izd-vo VSGU, 2014. pp.307-309. (rus)
9. Tynkevich, M. A. Statisticheskiy analiz dannykh na komp'yutere [The statistical analysis of data on the computer]. / M. A. Tynkevich, A. G. Pimonov, A. M. Vayngauz. // Kuzbas.gos.tekhn.un-t im.T.F. Gorbacheva. Kemerovo, 2013. 124 p. (rus)
10. Mikhel'kevich, V. N. Osnovy nauchno-tekhnicheskogo tvorchestva [Bases of scientific and technical creativity]. / V. N. Mikhel'kevich V. M. Radomskiy // Feniks, 2004. 320 p. (rus)
11. Proekt TM. Tekhnologii myshleniya [TM projekt. Technologies of thinking]. URL: <http://project-tm.ru/heuristic.html> (accessed: 14.05.2015). (rus)
12. Slovarei i entsiklopedii na akademike [Dictionaries and encyclopedias on the academician]. URL: <http://dic.academic.ru> (accessed: 14.05.2015). (rus)
13. Lakhmi C. Martin Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms Industrial Applications/ C. Lakhmi, N. M. Jain // CRC Press, CRC Press LLC, 1998. (eng)
14. Gilad Bracha. Generics in the java programming language. A good all around description of generics in Java. URL: <http://java.sun.com/j2se/1.5/pdf/generics-tutorial.pdf>. (accessed: 14.05.2015). (eng)
15. Fischer P. Heuristic Algorithms for NP-Complete Problems Thomas V. Christensen Supervisor/ P. Fischer, K. Lyngby // 2007 IMM-BSc-2007-12. (eng)
16. Algoritmy. Metody. Iskhodniki [Algorithms. Methods. Source codes]. URL: <http://algotlist.manual.ru/> (accessed: 14.05.2015). (rus)
17. NeuroProject. URL: <http://www.neuroproject.ru/> (accessed: 14.05.2015). (rus)

Received 18 April 2015