

УДК 004.042:519.873

А.А. Тайлакова, ст. преподаватель
(КузГТУ, г. Кемерово)

А.Г. Пимонов, д. т. н., профессор
(КузГТУ, г. Кемерово; ИЭОПИ СО РАН, г. Новосибирск)

Anna A. Tailakova, senior lecturer
(KuzSTU, Kemerovo)

Alexander G. Pimonov, Doctor of Technical Science, Professor
(KuzSTU, Kemerovo; IEIE SB RAS, Novosibirsk)

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

COMPUTER-AIDED DESIGN OPTIMUM DESIGN OF NONRIGID ROAD CLOTHES

Развитие сети региональных автодорог является важным фактором в укреплении экономических связей между отдельными регионами РФ и способствует росту международной торговли.

Согласно «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» [1] главной задачей государства в сфере функционирования и развития транспортной системы России является создание условий для экономического роста, повышения конкурентоспособности национальной экономики и качества жизни населения через доступ к безопасным и качественным транспортным услугам, превращение географических особенностей России в ее конкурентное преимущество. Среди целей стратегии отмечены обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами; повышение уровня безопасности транспортной системы, снижение ее негативного воздействия на окружающую среду.

Режимы и безопасность движения автомобильного транспорта определяют состояние дорожного покрытия. Дорожная одежда является одним из наиболее важных и материалоемких элементов автомобильной дороги. 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. К современным автомобильным дорогам предъявляются высокие требования по осуществлению бесперебойной работы автомобильного транспорта, обеспечению безопасности движения и архитектурно-эстетические требования. Выполнение их может быть

обеспечено только при использовании системного подхода на всех этапах проектирования, эксплуатации и содержания автомобильных дорог. Ошибки, допущенные на этапе проектирования, могут привести к снижению эффективности капиталовложений [2].

Сложность расчетов и большой объем справочной информации указывают на целесообразность применения средств автоматизации. При проектировании автомобильных дорог необходим учет комплекса требований, среди которых важнейшими являются обеспечение оптимального транспортного обслуживания экономических и социальных потребностей региона; повышение эффективности работы автомобильного транспорта, обеспечение удобства и безопасности движения; охрана окружающей среды; экономия денежных и материальных ресурсов при строительстве и эксплуатации дорог. Поиск проектного решения, в наибольшей степени отвечающего этим требованиям, является достаточно сложной задачей и связан с большими затратами труда высококвалифицированных инженеров-проектировщиков.

Одно из направлений повышения обоснованности и качества проектных решений при одновременном сокращении трудоемкости и сроков выполнения проектных работ – использование ЭВМ. Их практическое применение при проектировании автомобильных дорог началось в период второй половины пятидесятых – начале шестидесятых годов. Из-за малого быстродействия и объема памяти ЭВМ тех лет и несовершенства периферийного оборудования лишь небольшая часть проектных работ выполнялась на ЭВМ. Интенсивное развитие вычислительной техники, совершенствование программного обеспечения существенно увеличили эту долю. Произошел качественный скачок, позволяющий говорить в настоящее время о внедрении в проектный процесс систем автоматизированного проектирования. Опыт применения систем автоматизированного проектирования показывает их высокую эффективность не только с точки зрения сокращения сроков проектирования, но и, что самое важное, повышения качества и обоснованности проектных решений [3].

Мир информационных технологий развивается динамично. Всё большую роль играют веб-приложения. Сегодня приложения этого вида стали такими же сложными программными продуктами, как и обычные десктоп-приложения [4]. Веб-приложения – это программы, предназначенные для автоматизированного выполнения каких-либо задач на веб-серверах и использующие в качестве программы-клиента интернет-браузеры. Данные хранятся на сервере, а обмен информацией между сервером и клиентом происходит по сети. К преимуществам веб-приложений следует отнести следующие: они не требуют установки на компьютер заказчика объемного программного обеспечения (для полноценной работы нужны только браузер и доступ в интернет); веб-разработки не требуют специальной настройки и администрирования, их администраторами яв-

ляются разработчики; для работы веб-приложений требуется минимальная аппаратная платформа; обновление веб-приложений происходит автоматически; веб-приложения обеспечивают высокую мобильность – ими можно пользоваться везде, где есть доступ в интернет [5].

Разработанный веб-сервис [6] для поиска оптимальной конструкции нежестких дорожных одежд предоставляет в распоряжение пользователя следующие функциональные возможности:

- 1) ведение базы справочной информации;
- 2) оцифровка графической информации;
- 3) визуализация графической информации;
- 4) проектирование конструкции;

5) расчет дорожных одежд на прочность: расчет конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу; расчет конструкции по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев; расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе;

6) проверка на морозоустойчивость;

7) поиск наиболее экономичного варианта: оптимизация толщин конструктивных слоев; подбор материалов конструктивных слоев;

8) ведение базы проектируемых участков;

9) формирование отчетов.

В настоящее время на территории Российской Федерации в качестве нормативного документа, регламентирующего метод расчета нежестких дорожных одежд, приняты ОДН 218.046-01 [7] (отраслевые дорожные нормы). Согласно ОДН 218.046-01, проектирование дорожной одежды представляет собой единый процесс конструирования и расчета дорожной конструкции на прочность, морозоустойчивость с технико-экономическим обоснованием вариантов для выбора наиболее экономичного в данных условиях. В соответствии с этим разработан комплексный алгоритм расчета на прочность и морозоустойчивость и оценки стоимости проектируемой конструкции нежесткой дорожной одежды.

Процедура конструирования дорожной одежды включает следующие этапы:

1) выбор вида покрытия;

2) назначение числа конструктивных слоев с выбором материалов для устройства слоев, размещение слоев в конструкции и назначение их ориентировочных толщин;

3) предварительную оценку необходимости назначения дополнительных морозозащитных мер с учетом дорожно-климатической зоны, типа грунта рабочего слоя земляного полотна и схемы увлажнения рабочего слоя на различных участках;

4) предварительный отбор конкурентоспособных вариантов с учетом местных природных и проектных условий работы [8].

В процессе расчета конструкции на прочность выполняются вычисления по критериям упругого прогиба, сдвигоустойчивости малосвязных конструктивных слоев и подстилающего грунта и расчет на сопротивление монолитных слоев усталостному растяжению при изгибе. Результатом расчета являются значения расчетных коэффициентов по соответствующим критериям. На основании их соотношения с нормативными значениями может быть сделан вывод о соответствии конструкции требованиям прочности.

В процессе проверки конструкции на морозоустойчивость рассчитываются значения ожидаемого и допустимого пучения грунта. Если величина ожидаемого пучения грунта не превышает допустимое значение, то конструкцию считают соответствующей требованию морозоустойчивости.

Задача расчета оптимальной 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 [7]. Веб-сервис позволяет осуществлять поиск оптимальной конструкции нежестких дорожных одежд с использованием разработанных оптимизационных моделей [9]:

1) модели для подбора конструкции путем варьирования толщин конструктивных слоев;

2) модели для подбора конструкции путем варьирования материалов конструктивных слоев.

В связи с нелинейными ограничениями задачи 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 искомым 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 (популя-

цией) – 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].

Генетические алгоритмы – не единственный способ решения задач оптимизации. Кроме него существуют ещё два основных подхода к решению таких задач – переборный и локально-градиентный (рис. 1).

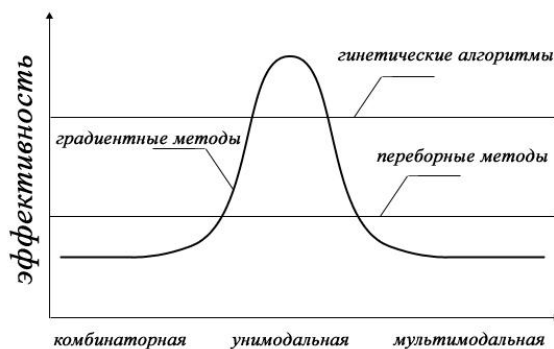


Рис. 1. Сравнение эффективности генетических алгоритмов, градиентных и переборных методов

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 мето-

да, а отбор лучших решений – градиентный спуск. Такое сочетание обеспечивает устойчиво хорошую эффективность генетического поиска для любых типов оптимизационных задач.

Применение автоматизированных программных средств в процессе проектирования нежестких дорожных одежд позволяет специалистам-дорожникам исключить возможные ошибки расчетов, возникающие при традиционном способе проектирования. Благодаря рассмотрению большого количества вариантов конструкций возникает возможность оптимизации конструкции нежестких дорожных одежд по заданным критериям. 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.

Разработанный веб-сервис позволяет осуществлять поиск наиболее экономичного варианта конструкции нежестких дорожных одежд путем оптимизации толщин конструктивных слоев или подбора материалов конструктивных слоев.

Список литературы

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года / Минтранс России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rosavtodor.ru/documents/transport-strategy-2030/> (дата обращения: 01.10.2016).
2. Федотов, Г. А. Справочная энциклопедия дорожника. V том Проектирование автомобильных дорог / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов – М., 2007. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sniphelp.ru/constructing/005.001/Spravochnik__51535/ (дата обращения: 01.10.2016).
3. Пуркин, В. И. Основы автоматизированного проектирования автомобильных дорог. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 141 с.
4. Web-Dev. Заметки web-мастера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lamp-dev.ru/web-dev/desktop-vs-web-applications/> (дата обращения: 01.10.2016).
5. QScо. Информационные системы для вашего бизнеса. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.q-sco.ru/oblasti-ekspertitzi/napravlenija/web-prilozhenija.html> (дата обращения: 01.10.2015).
6. Тайлакова, А. А. Web -сервис для поиска оптимальной конструкции нежестких дорожных одежд / А. А. Тайлакова, А. Г. Пимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 6. – С. 160 – 164.
7. Отраслевые дорожные нормы. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Минтранс России. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.
8. Афиногенов, О. П. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Ке-

мерово: Кузбассвуиздат, 2004. – 130 с.

9. Тайлакова, А. А. Оптимизационные модели расчета конструкции нежестких дорожных одежд / А. А. Тайлакова, А. Г. Пимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 149 – 155.

10. Михелькевич, В. Н. Основы научно-технического творчества / В. Н. Михелькевич, В. М. Радомский. – М.: Феникс, 2004. – 320 с.

11. Проект ТМ. Технологии мышления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://project-tm.ru/heuristic.html> (дата обращения: 14.10.2016).

12. Словари и энциклопедии на академике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru> (дата обращения: 14.10.2016).

13. Lakhmi, S. Martin Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms Industrial Applications / S. 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: 14.10.2016).

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. Исходники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://algotlist.manual.ru/> (дата обращения: 14.10.2016).

17. NeuroProject. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neuroproject.ru/> (дата обращения: 14.10.2016).