

ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ДОЛГОСРОЧНЫХ КОНТРАКТОВ

Лаврентьев П. А.¹, Солодкий А. И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), e-mail: shoutboy@yandex.ru

Проведен анализ существующей отечественной методологии оценки потребительских свойств автомобильных дорог. Целью анализа методик является возможность их использования в рамках комплексных долгосрочных контрактов, активно используемых за рубежом. Анализировались следующие методы: МАДИ, РОСДОРНИИ, логико-лингвистический, нечетких нейронных сетей и имитационного статистического моделирования. Каждый из методов характеризуется индивидуальным набором параметров для оценки потребительских свойств автомобильной дороги. Для метода МАДИ была установлена условная зависимость между видами дорожной деятельности, установленными федеральным законодательством Российской Федерации, и частными коэффициентами обеспеченности расчетной скорости, которые изменяются под воздействием этих видов деятельности. Метод РОСДОРНИИ был рассмотрен шире традиционных представлений – возможность его применения заказчиком и подрядчиком при комплексных долгосрочных контрактах. Два взаимосвязанных метода – логико-лингвистический и нечетких нейронных сетей по сути инновационны для оценки потребительских свойств автомобильных дорог в своей модели расчетов. Была отмечена универсальность обоих методов для других отраслей народного хозяйства. Метод имитационного статистического моделирования – математический инструмент, примененный к вероятностной оценке потребительских свойств автомобильных дорог. На основании анализа указанных методов оценки ТЭС были сделаны выводы по их применению в комплексных долгосрочных контрактах в дорожном хозяйстве.

Ключевые слова: автомобильные дороги, потребительские свойства, транспортно-эксплуатационное состояние, обеспеченная скорость, комплексные долгосрочные контракты.

ESTIMATE OF THE QUALITY PROPERTIES OF ROADS WITH USING PERFORMANCE-BASED CONTRACTING

Lavrentyev P. A.¹, Solodky A. I.¹

¹ «Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», Saint-Petersburg, Russia (190005, 2-nd Krasnoarmeyskaiastreet.,4, Saint-Petersburg), e-mail: shoutboy@yandex.ru

We have done the analysis of Russian methodologies of estimate of the quality properties of roads with using performance based-contracting. The usability of the estimate of the quality of roads with using performance-based contracting become a general criteria for this methodologies. We have done the analysis: method MADI, method ROSDORNII, logical-linguistic method, fuzzy neural network, The Monte-Carlo method. Each method consists an individual amount of parameters for estimate of the quality properties of roads. For method MADI suggested a dependence between private coefficients of a road speed and type of maintenance. ROSDORNII method was considered beyond the traditional notions – its possibility of using by customer and contractor in complex and long- term contracts. Other two methods , which are interrelated – logical– linguistic and fuzzy neural network are innovative in its model calculation. It helps in assessment of consumer properties of roads. Also the methods were useful in other sectors of economy.

The Monte-Carlo method – mathematical tool which also was used in assessment of consumer properties of roads. Based on the analysis of wide range of assessment methods were drawn some conclusions by using these methods in complex and long- term contracts of road industrial.

Key words: roads, highways, road quality properties, maintenance condition of roads, performance-based contracting, PBC, project speed, current speed.

Изучение зарубежного опыта применения комплексных долгосрочных контрактов показывает, что важнейшей их составляющей является набор технических параметров, характеризующих потребительские свойства автомобильной дороги. В России таким

набором параметров могут стать характеристики транспортно-эксплуатационного состояния (ТЭС) автомобильной дороги [9].

В рамках комплексного долгосрочного контракта необходимо оценить существующее транспортно-эксплуатационное состояние дороги, сделать прогноз по изменению этих свойств, при принятой стратегии ремонтов и содержания дороги и обеспечения постоянного мониторинга ТЭС. Способ обеспечения ТЭС в условиях работы по комплексным долгосрочным контрактам подрядчик, руководствуясь действующими нормативными документами, определяет сам, решая, каким типом или набором из видов дорожной деятельности воспользоваться, чтобы выполнить обязательства перед заказчиком.

Дорожная деятельность регулируется федеральным законом “Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” [4]. Виды дорожной деятельности делятся на: содержание, ремонт, капитальный ремонт и реконструкцию автомобильной дороги.

К определенным действующим законодательством [3] типам дорожной деятельности может быть добавлена модернизация автомобильных дорог.

Рассмотрены наиболее разработанные методы оценки ТЭС, включая традиционные методы – это так называемые методы МАДИ и РОСДОРНИИ [8], и ряд новых методов [2,7].

Метод МАДИ

По методу МАДИ транспортно-эксплуатационное состояние каждого характерного отрезка дороги оценивают итоговым коэффициентом обеспеченности расчётной скорости $K_{pci}^{умог}$, который принимают за комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дороги на данном отрезке:

$$KPI_{di} = K_{pci}^{умог} \quad (1.1)$$

Оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги на момент обследования выполняют по величине комплексного показателя:

$$KPI_{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pci}^{умог} \cdot l_i}{L}, \quad \text{где} \quad (1.2)$$

Значение итогового коэффициента обеспеченности расчётной скорости $K_{pci}^{умог}$ на каждом участке для осенне-весеннего расчётного по условиям движения периода года принимают равным наименьшему из всех частных коэффициентов на этом участке.

Итоговое значение коэффициента обеспеченности расчётной скорости определяют частные коэффициенты. Согласно методу МАДИ частных коэффициентов всего 10.

Из анализа коэффициентов следует, что для системы комплексных долгосрочных контрактов в расчет необходимо включать лишь “приоритетные” частные коэффициенты обеспеченности расчетной скорости. В случае комплексных долгосрочных контрактов необходимо соблюдать в каждом их виде принцип приоритетности частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости.

Различные виды дорожной деятельности оказывают влияние на различные ТЭС дороги и соответственно на различные частные коэффициенты обеспеченности расчетной скорости. Отметим, что каждый из видов дорожной деятельности может стать субъектом комплексного долгосрочного контракта. Заказчик вправе заключить комплексный долгосрочный контракт как на строительство и на весь последующий жизненный цикл автомобильной дороги, так и на отдельные виды работы в жизненном цикле.

Содержание

Согласно нормативным документам [1, 5] работы по содержанию автомобильных дорог включают в себя работы: учитывающие ширину и состояние обочин; обеспечивающие ровность в поперечном направлении (контроль глубины колеи). Также в содержание входят работы, направленные на поддержание безопасности дорожного движения при соответствующих интенсивности и составе движения автомобилей. Работы по содержанию оказывают влияние на значения следующих частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости: Крс2; Крс3; Крс7; Крс10.

Ремонт

Работы по ремонту автомобильной дороги влияют на следующие технические параметры [1]: ширину основной укрепленной поверхности (укрепленной поверхности) и ширину габарита моста; ширину и состояние обочин; интенсивность и состав движения; продольные уклоны и видимость поверхности дороги; продольную ровность покрытия; коэффициент сцепления колеса с покрытием; состояние и прочность дорожной одежды; ровность в поперечном направлении (глубину колеи). Вышеперечисленные технические параметры, обеспеченные ремонтом автомобильной дороги, будут влиять на значения частных коэффициентов: Крс2; Крс3; Крс6; Крс7; Крс8; Крс9; Крс10.

Капитальный ремонт

Классификация по капитальному ремонту [1] охватывает комплекс работ, влияющих на все технические параметры дороги, оцениваемые частными коэффициентами обеспеченности расчетной скорости. Поэтому актуальный набор Крс для капитального

ремонта включает в себя все десять коэффициентов: Крс2; Крс3; Крс5; Крс6; Крс7; Крс8; Крс9; Крс10.

Реконструкция

Реконструкция, как правило, обеспечивает возможность перевода дороги в более высокую техническую категорию, но не приводит к увеличению протяженности дороги. Следовательно, к реконструкции может быть отнесен комплекс мероприятий по существенному повышению технических параметров и характеристик дорог, обеспечивающих увеличение скорости, пропускной способности, безопасности движения или допустимых осевых нагрузок автомобилей. Поэтому в этом случае также используются все десять частных Крс: Крс1; Крс2; Крс3; Крс4; Крс5; Крс6; Крс7; Крс8; Крс9; Крс10.

Модернизация

Рассмотрим случай, когда модернизация включена в комплексный долгосрочный контракт наряду с остальными видами дорожной деятельности. Исходя из определения модернизации, набор частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости для модернизации будет “лежать” между аналогичными наборами для капитального ремонта и реконструкции. При подборе Крс учитывается, что после проведения модернизации автомобильная дорога не переводится в более высокую техническую категорию, однако, влияние оказывается на все коэффициенты: Крс1; Крс2; Крс3; Крс4; Крс5; Крс6; Крс7; Крс8; Крс9; Крс10.

Анализ метода МАДИ показал, что он может эффективно применяться в комплексных долгосрочных контрактах для оценки существующего ТЭС дороги и последующего мониторинга ТЭС. Все предусмотренные типы дорожной деятельности, в том числе и “модернизация”, получили соответствие по частным коэффициентам обеспеченности расчетной скорости. Следовательно, в системе комплексных долгосрочных контрактов одним из возможных методов оценки дорожной деятельности подрядчика может являться метод МАДИ.

Метод РОСДОРНИИ (Планирование дорожно-ремонтных работ по «индексам соответствия».)

Для оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по методу РОСДОРНИИ необходимо определить приоритетные показатели. Приоритет отдается показателю безопасности дорожного движения K_a , характеризующим число дорожно-транспортных происшествий на 10 млн автомобилей, прошедших через пересечение [4]. А эффективность ремонта оценивают только по степени снижения дорожно-транспортных происшествий.

Метод РОСДОРНИИ может быть применен для оценки ТЭС АД в комплексном долгосрочном контракте по итогам проводимых подрядчиком всех видов дорожной деятельности: содержания, ремонта, капитального ремонта и реконструкции автомобильной дороги. Он помогает подрядчику самостоятельно определить рациональную очередность ремонтных работ, исходя из состояния участка автомобильной дороги (таблица 1).

Таблица 1. Таблица очередности ремонтных работ по методу РОСДОРНИИ

Очередность ремонтных работ	Состояние участка по условиям безопасности движения	Показатель очередности и состояния участка
Первая	Очень опасные или опасные и с неудовлетворительным сцеплением коэффициентом	0
Вторая	Очень опасные или опасные и с неудовлетворительной ровностью, или (и) отсутствием виража, или (и) с неукрепленной обочиной	1
Третья	Малоопасные или неопасные и с неудовлетворительным сцеплением коэффициентом	2
Четвертая	Малоопасные или неопасные и с неудовлетворительной ровностью, или (и) с отсутствием виража, или (и) с неукрепленными обочинами	3
Пятая	Остальные участки, нуждающиеся в ремонте	4

Примечание. Участкам, не требующим ремонта, присваивается показатель очередности или состояния, равный 5.

Логико-лингвистический метод

Оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог выполняется: по статистическим данным; на основе натурных экспериментов; по теоретическим зависимостям; на основе имитационного моделирования на ЭВМ движения транспортных потоков.

В данном методе используется адаптивная постановка основной задачи управления [2], заключающейся в отсутствии изначальных знаний о математической модели объекта управления. ТЭС автомобильной дороги в каждый конкретный момент времени может удобно интерпретироваться качественной информацией, хорошо моделируемой аппаратом нечеткой логики.

Для оценки степени вклада каждой лингвистической переменной в общий интегральный показатель применяем метод “попарного сравнения элементов” из анализа иерархий. Разработанная система субъективных правил типа: если общее состояние дороги

“ХОРОШЕЕ” и степень воздействия отрицательных факторов “СРЕДНЕЕ”, и запланированное содержание характеризуется как “ВЫСОКОЕ”, то итоговое состояние дороги через год “ОЧЕНЬ ХОРОШЕЕ”.

Метод нечетких нейронных сетей (на основе логико-лингвистического подхода)

Метод нечетких нейронных сетей [7] позволяет оценить транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги посредством программирования с заданием ряда лингвистических переменных. Также метод позволяет производить обучение системы программирования.

Процесс функционирования системы управления эксплуатационным состоянием автомобильных дорог представлен в виде следующих подмножеств:

1) Совокупность собственных параметров системы – переменные, описывающие эксплуатационное состояние автомобильной дороги. К ним относятся переменные, характеризующие состояние покрытия, земляного полотна, искусственных сооружений, а также обустройства и обстановки дороги [8]:

$$y_j \in Y, \text{ где } j = 1, 2, \dots, nY \quad (1.3).$$

2) Совокупность входных контролируемых воздействий на систему – переменные, характеризующие дорожные работы, определяемые термином “содержание автомобильной дороги” [9]: $x_i \in X$, где $i = 1, 2, \dots, nX$ (1.4).

3) Совокупность входных неконтролируемых отрицательных воздействий внешней среды – переменные, характеризующие объективное воздействие на автомобильную дорогу, как на инженерное сооружение. К ним относятся переменные, характеризующие природно-климатическое воздействие, состав транспортного потока и интенсивность, а также прирост интенсивности: $v_l \in V$, где $l = 1, 2, \dots, nv$ (5.3).

Для устранения субъективизма в данном методе используется совмещение механизма нечеткого вывода с искусственными нейронными сетями. Получаемая в результате этого объединения нечеткая нейронная сеть (ННС) способна к обучению прогнозируемых результатов (рис. 2).

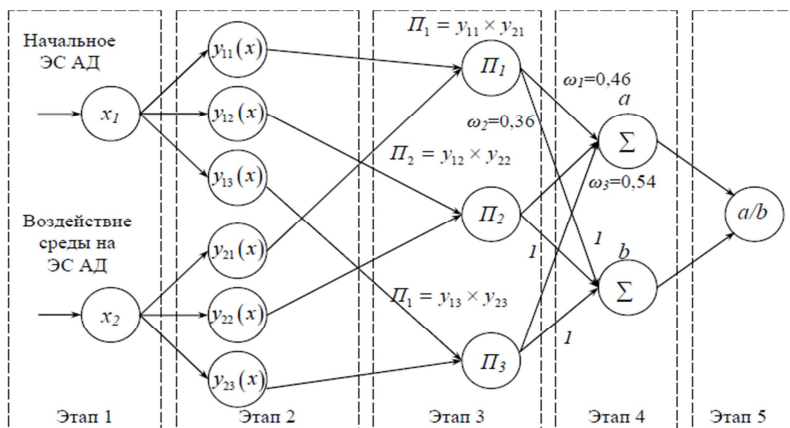


Рис. 2. Пример реализации нечеткой нейронной сети по прогнозированию ТЭС АД на основе трех правил в общем виде

Данный метод применим в системе комплексного долгосрочного контракта для прогнозирования ТЭС дороги. Также метод может использоваться для назначения сроков ремонта и определения жизненного цикла в рамках долгосрочного контракта.

Метод имитационного статистического моделирования

Один из эффективных методов исследований ТЭС АД является метод имитационного статистического моделирования. Благодаря этому методу можно выявить участки дороги, подлежащие ремонту в первую очередь, и при ограниченном финансировании максимально повысить эффективность функционирования дороги (посредством снижения транспортных затрат за счет увеличения скорости движения).

Основным инструментом метода имитационного моделирования является метод Монте-Карло. Используя метод Монте-Карло, определяются искомые величины. Определение происходит путем наблюдения за случайным процессом и вычисления его статистических характеристик, приближенно равных искомым параметрам. Применимо к оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги за искомые величины принимаются транспортно-эксплуатационные показатели.

Искомая величина x может быть равной математическому ожиданию $M\xi$ некоторой случайной величины. В рамках поставленной задачи – вычисления одного из транспортно-эксплуатационных показателей, за показатель принимается случайная величина, а ее случайное значение на протяжении жизненного цикла автомобильной дороги будет x .

Тогда метод Монте-Карло для приближенного нахождения величины x в серии независимых испытаний $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ и вычислении среднего значения.

$$\bar{\xi} = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}{N} \quad (1.5).$$

По закону больших чисел при достаточно большом значении N с вероятностью, достаточно близкой к единице,

$$\bar{\xi} = M\xi = x \quad (1.6).$$

Следовательно, определенная из наблюдения над случайным процессом величина $\bar{\xi}$ приближенно равна искомой величине x .

Метод статистического моделирования может быть применен подрядчиком и в системе комплексного долгосрочного контракта для выработки стратегии работ по ремонту и содержанию дороги, определения объемов и видов работ, необходимых для поддержания дороги в нормативном состоянии.

Вывод по методам оценке ТЭС АД

В ходе анализа методов оценки транспортно-эксплуатационного состояния были рассмотрены пять методов. Их можно разбить по условным группам в зависимости от задач, которые позволяют решать те или иные методы.

Первая и основная группа методов – по оценке ТЭС АД. Эта задача решается всеми 5-ю методами: МАДИ, РОСДОРНИИ, логико-лингвистический, метод нечетких нейронных сетей, метод имитационного статистического моделирования. Но при этом более точные результаты дает метод МАДИ. При расчетах по методу МАДИ оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по широкому спектру параметров, чем при использовании других методов.

Следующая группа – задачи по прогнозированию ТЭС АД. Прогноз ТЭС АД можно осуществить с помощью логико-лингвистического метода, метода нечетких нейронных систем и метода имитационного статистического моделирования. Наличие в методе нечетких нейронных систем внутренней системы обучения и контроля за средней фактической ошибкой позволяет с его помощью получать более качественные результаты.

Метод РОСДОРНИИ, метод МАДИ, метод имитационного статистического моделирования в разной степени позволяют решать задачу определения очередности ремонтных работ на различных участках автомобильной дороги и разрабатывать стратегию проведения ремонтных работ. Таким образом, рассмотренные методы оценки ТЭС АД могут быть использованы при применении комплексных долгосрочных контрактов для решения различных задач управления и на разных стадиях договорных отношений между заказчиком и подрядчиком.

Список литературы

1. Боровик В. С., Скоробогатченко Д. А. Логико-лингвистическая система прогнозирования изменения состояния автомобильной дороги. Дорожно-транспортный комплекс, экономика, экология, строительство и архитектура: Материалы международной научно-практической конференции. – Омск: СибАДИ, 2003. – С.316.
2. Васильев А. П. О планировании работ по реконструкции, модернизации и ремонту автомобильных дорог // Развитие методов и технологий строительства и эксплуатации автомобильных дорог: сб. науч. тр. Моск. автомоб.-дор. ин-т (гос. техн. ун-т). – М., 2005. – С. 25.

3. Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования искусственных сооружений на них. Утверждена приказом Минтранса России от 12 ноября 2007 г. №160. – С. 13.
4. Об утверждении классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования и искусственных сооружений на них: Приказ Минтранса России от 12 ноября 2007 г. № 160 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. ФГУП «Информавтодор» – 2008. – №7. – С. 191.
- 5.ОДМ 218.0.000-2003. Руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог (Временное). Распоряжение Государственной службы дорожного хозяйства Минтранса России от 01 января 2003 г. // Росавтодор № 2003. – С. 29.
- 6.Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. П. /А. П. Васильев, Э. В. Дингес и др.; Под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2004. – С.897.
7. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц,учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хозяйство" направления подготовки "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования – 2009 (Высшее профессиональное образование. Дорожное строительство) (Учебник). – С.257.
8. Скоробогатченко Д. А. Повышение точности прогнозирования эксплуатационного состояния автомобильных дорог с использованием автомобильных дорог с использованием нечетких нейронных сетей // ДОРОГИ и МОСТЫ: сб. –2010. – №25. – С.259.
9. Федеральный закон “Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации”. Принят Государственной Думой 18 октября 2007 года. Одобрен Советом Федерации 26 октября 2007 года. – С.46.

Рецензенты:

Ермошин Николай Алексеевич, д.в.н., профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Минобрнауки РФ, г. Санкт-Петербург.

Карпов Борис Николаевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»Минобрнауки РФ, г. Санкт-Петербург.

Гилев Анатолий Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы», ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» Минобрнауки РФ, г. Красноярск.