

Управление жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации на основе алгоритмов искусственных нейронных сетей

М.М.М. Елшамы^{1,2}, А.Н. Тиратурян¹, Е.В. Углова¹

¹Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

²Аль-Азхар университет, Арабская Республика Египет / Египет

Аннотация: Этап эксплуатации автомобильной дороги является одним из самых ответственных в ее жизненном цикле. Принимаемые на этом этапе решения оказывают прямое влияние на долговечность автомобильной дороги, безопасность и транспортные издержки ее пользователей. Оптимизация принимаемых решений является актуальной задачей, требующей всестороннего рассмотрения как технической, так и экономической составляющей. В рамках данной работы с использованием алгоритмов искусственных нейронных сетей (ИНС), разработана математическая модель ИНС для определения интегрального уровня сохранности дорожной одежды, исходя из комплекса структурных и эксплуатационных факторов, включающих в себя модули упругости слоев дорожной одежды, продольную ровность, колейность, и наличие усталостных разрушений. На основе интегрального уровня сохранности дорожной одежды прогнозируется ее эксплуатационное состояние, назначается шкала для выбора управляющих воздействий позволяющих обеспечить ее требуемую долговечность.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, интегральный уровень сохранности, дефлектометр падающего веса, содержание автомобильной дороги, управление жизненным циклом автомобильных дорог

Введение

Дороги являются национальным достоянием любых государств, и важнейшим звеном их экономики. Недофинансирование и принятие неверных управленческих решений на этапе эксплуатации приводит к необеспеченности требуемых межремонтных сроков службы и, как следствие, резкому увеличению издержек в течение жизненного цикла автомобильной дороги. Эти факты свидетельствуют о важности и необходимости оптимизации управления жизненным циклом автомобильных дорог на этапе эксплуатации [1,2].

Известные системы управления состоянием автомобильных дорог нацелены в первую очередь на сбор и анализ информации об эксплуатационном состоянии автомобильных дорог и позволяют планировать и назначать ремонтные мероприятия, оценивая их

экономический эффект. Однако в основе абсолютного большинства показателей, используемых системами управления состоянием автомобильных дорог [3,4] лежат либо характеристики, связанные с продольной ровностью, либо комплексные экспертные показатели, учитывающие продольную ровность и дефекты покрытия. Жесткость дорожной одежды, являющаяся основным фактором, обеспечивающим ее долговечность, остается в них факультативным показателем.

Принятие решений на этапе эксплуатации автомобильных дорог требует использования многокритериальных моделей, либо моделей, ориентированных на один показатель, но объединяющий как эксплуатационные, так и структурные (жесткостные свойства) дорожной одежды автомобильной дороги [5]. Сложность реализации таких моделей зачастую может быть связана с разнонаправленностью эксплуатационных и структурных показателей. Так, например, хорошая ровность покрытия вполне может быть обеспечена при низкой жесткости дорожной одежды, из-за недавно проведенных ремонтных работ, а высокая жесткость дорожной одежды автомобильной дороги может сочетаться с неудовлетворительной ровностью покрытия [6,7].

Эффективным аппаратом для решения подобного класса задач являются искусственные нейронные сети (ИНС), являющиеся одним из приложений искусственного интеллекта [8,9], широко используемым для описания и решения многих сложных нелинейных процессов.

Цель работы – разработать комплексную методологию прогнозирования состояния дорожной одежды на этапе эксплуатации, включая оценку конструктивного и эксплуатационного состояния автомобильных дорог, а также составление соответствующего плана действий по текущему и капитальному ремонту, в целях разработки механизмов управления жизненным циклом дорог.

2. Подготовка базы данных

В рамках данной работы был разработан ряд моделей искусственных нейронных сетей для решения таких частных задач, как: прогнозирование значений модулей упругости конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог на основе экспериментальных чаш прогибов, прогнозирование эксплуатационного состояния автомобильной дороги на основе данных диагностики, и прогнозирование интегрального уровня сохранности автомобильной дороги, как основного подхода к управлению жизненным циклом. База данных показателей, на которых осуществлялось обучение валидация и тестирование нейронной сети была сформирована на основе инструментальных обследований, проводившихся с 2015 по 2018 годы на автомобильных дорогах М4 – Дон и М-11 - Беларусь.

Например, на рис. 1, 2, и 3 представлены данные, зарегистрированные по оценке модулей упругости ровности на участке км 877+000–892+000 автомобильной дороги М-4 «Дон», а также на (рис.4) приведен средний балл по визуальной оценке, на участке км 892+000–907+000.

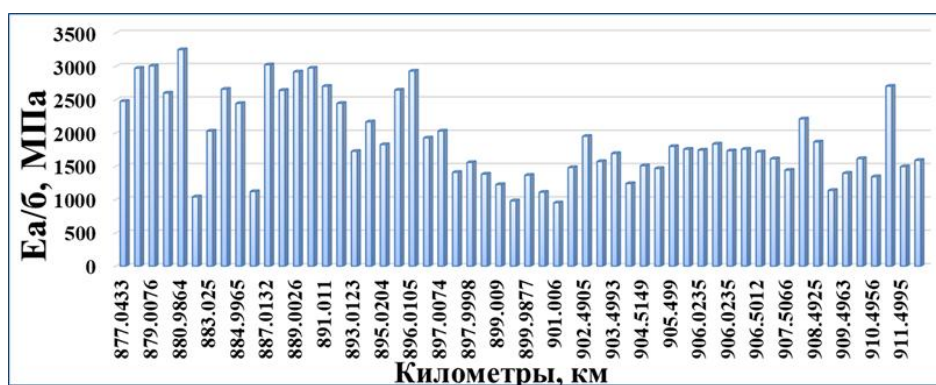


Рис. 1. – Модуль упругости слоёв асфальтобетона на участке км 877+000–892+000 автомобильной дороги М-4 «ДОН»

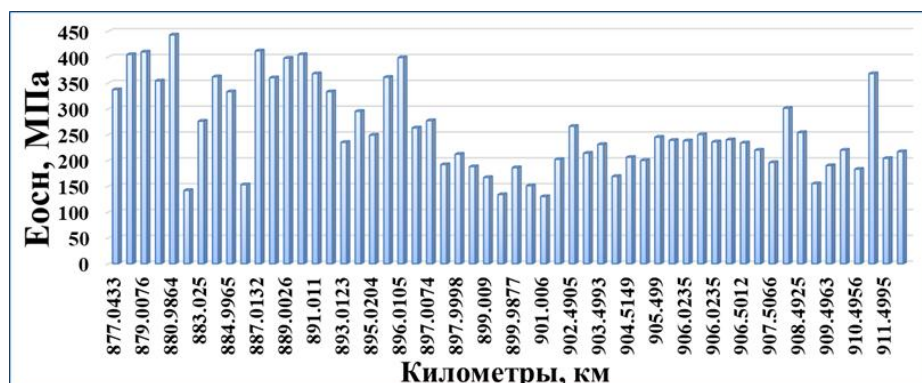


Рис. 2. – Модуль упругости слоёв основания на участке км 877+000–892+000 автомобильной дороги М-4 «ДОН»

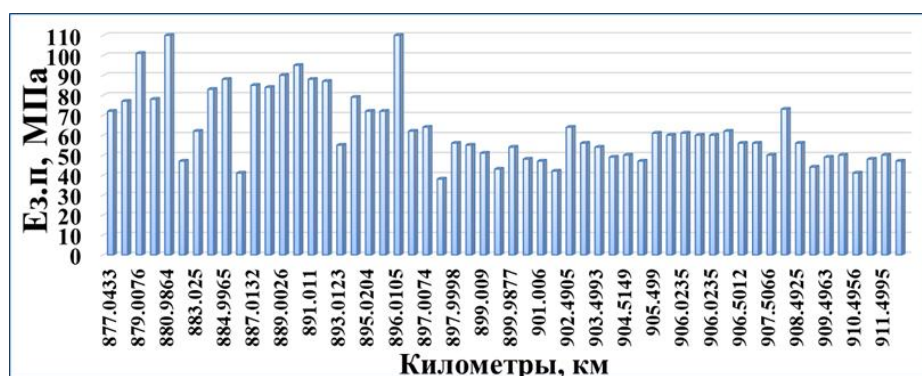


Рис. 3. – Модуль упругости слоёв грунта земляного полотна на участке км 877+000–892+000 автомобильной дороги М-4 «ДОН»

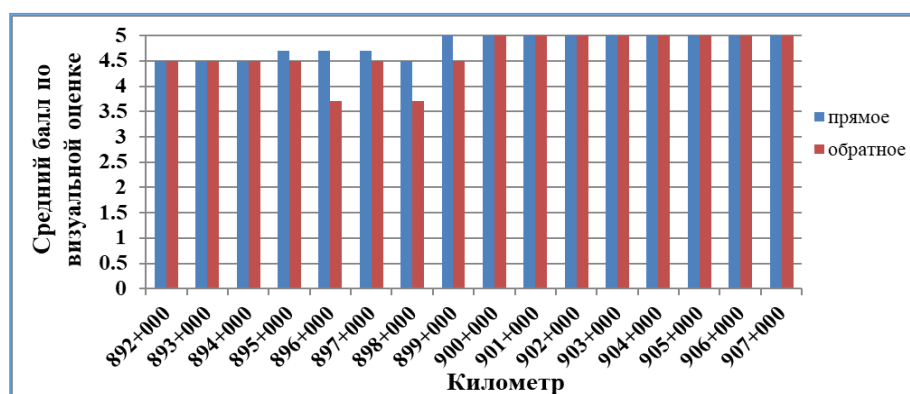


Рис. 4. – Средний балл, по визуальной оценке, на участке автомобильной дороги М4 ДОН км 892+000–907+000

В качестве основных структурных индикаторов состояния дороги на этапе эксплуатации анализировались модули упругости слоёв дорожной одежды – (Еа/б – слой асфальтобетона, Еосн – слой основания и Ез.п – слой грунта земляного полотна); в качестве эксплуатационных – вероятность

усталостного разрушения, ухудшение продольной ровности покрытия и колейность [10]. Эти параметры использовались в качестве входных переменных для обучения моделей ИНС и прогнозирования значений интегрального уровня сохранности автомобильной дороги.

Интегральный уровень сохранности – это показатель, выражающий фактическое состояние автомобильных дорог в их эксплуатационном состоянии, а его знание помогает принимать соответствующие меры по улучшению эксплуатационного состояния автомобильных дорог в течение их жизненного цикла. В общем виде задача прогнозирования и оценки состояния автомобильной дороги на этапе её эксплуатации может быть представлена в виде следующего функционала:

$$ILS = f(E_i, F, IRI, R) , \quad (1)$$

где ILS – Интегральный уровень сохранности автомобильной дороги; E_i – модуль упругости слоёв дорожной одежды; F – усталостные дефекты, проявляющиеся в виде сетки, трещины на поверхности асфальтобетонного покрытия; IRI – продольная ровность; R – колейность.

3. Управление жизненным циклом автомобильных дорог

Подход к управлению жизненным циклом автомобильных дорог, разработанный в данном исследовании, базируется на применении модели ИНС для определения интегрального уровня сохранности автомобильных дорог. На (рис.5) показана структура одной из нейронных сетей, созданных для решения этой задачи.

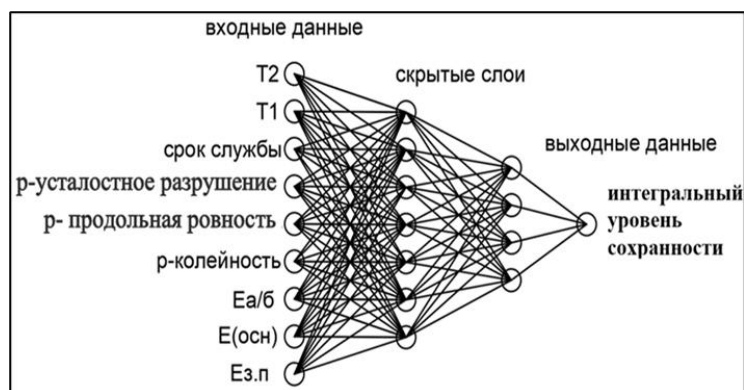


Рис. 5. – Структура одной из моделей нейронных сетей

Для проверки этой модели на опытных участках был осуществлен пробный расчет для 37 секций автомобильных дорог. Для каждой из них в качестве входных данных были использованы параметры структурного и эксплуатационного состояния автомобильных дорог, рассчитанные в соответствии с разработанными моделями ИНС.

Для окончательного обоснования архитектуры предлагаемой модели были проведены расчеты с целью прогнозирования интегрального уровня сохранности автомобильной дороги моделями с различным количеством нейронов на входном скрытых и выходных слоях на реальных участках автомобильных дорог, по которым имелись данные диагностики.

3.1 Прогнозирование значений интегрального уровня сохранности

Ниже представлены результаты расчета и прогнозирования интегрального уровня сохранности эксплуатируемых автомобильных дорог в секторах 1227 и 544 на протяжении 7 лет эксплуатации. Данный срок эксплуатации позволял сопоставлять полученные в ходе прогноза значения с фактическим результатами измерений, полученных на этих дорогах. Основной целью по итогам прогнозирования была выработка шкалы для назначения управляющих воздействий по итогам прогнозирования интегрального уровня сохранности, как показано на (рис.6).

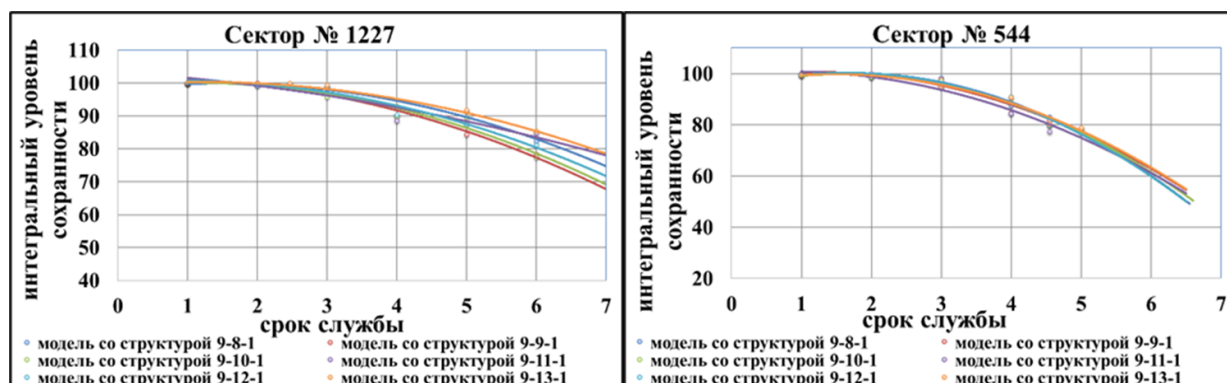


Рис. 6. – Кривые деградации состояния автомобильной дороги, рассчитанные для секторов № 1227 и 544

Установлено, что для участков автомобильных дорог (сектор 544 и 1227) наблюдается значительный разброс данных, что обосновывается их разнопрочностью и общей неоднородностью эксплуатационных характеристик. Поэтому в дальнейших расчетах использовалась модель искусственной нейронной сети с архитектурой 9-14-1, так как она ранее показала наибольшую точность прогнозирования.

С учетом полученных данных прогнозирования, была установлена взаимосвязь интегрального уровня сохранности автомобильных дорог с их эксплуатационным состоянием и предложена шкала критериев для принятия решений о видах управляющих воздействий, направленных на назначение мероприятий по восстановлению эксплуатационного состояния автомобильных дорог в течение их жизненного цикла. Основываясь на результатах прогнозирования будущего состояния дорожной одежды, можно выбрать характер управляющего воздействия, чтобы снизить скорость ухудшения ее состояния, вернув ее в проектное русло.

На (рис.7) показан предлагаемый план работ по техническому обслуживанию и ремонту четырех участков дорожной одежды на шесть лет, основанный на значениях показателя интегрального уровня сохранности автомобильной дороги для одной из моделей ИНС.

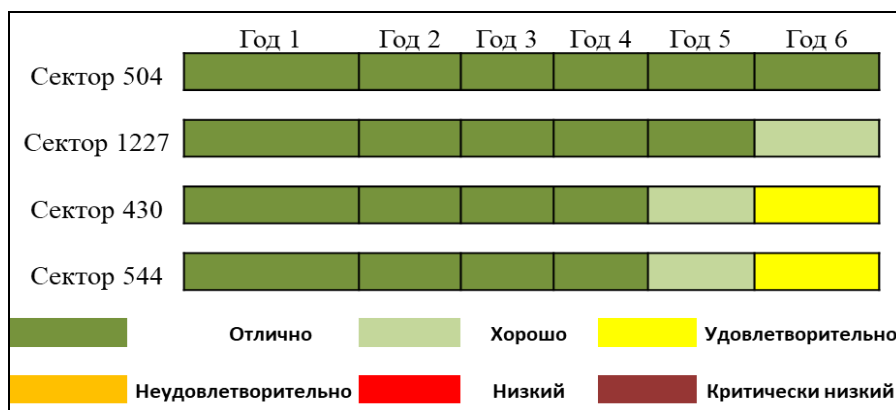


Рис. 7. – План мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту для четырёх участков дорожной одежды

В качестве примера ниже приведен график изменения состояния автомобильной дороги при применении в качестве управляющего воздействия выполнения работ по содержанию, связанных с восстановлением слоя износа на секторе 1227 автомобильной дороги, и ремонта с восстановлением двух слоев покрытия на секторе 544, как показано на (рис.8).

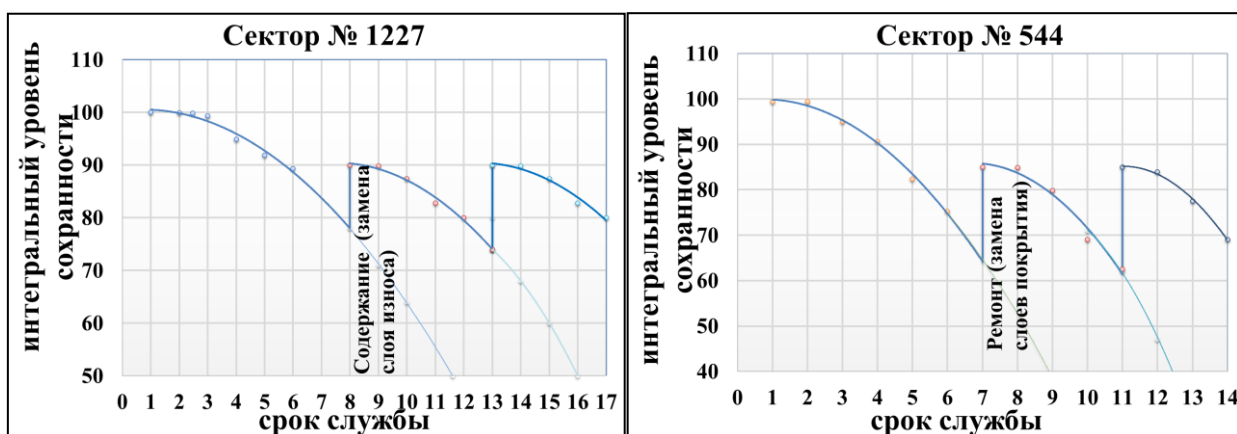


Рис. 8. – Изменение состояния автомобильной дороги после выполнения работ по ремонту

Это даёт возможность опираться на результаты моделей искусственных нейронных сетей при управлении жизненным циклом автомобильных дорог и выборе подходящего времени и способа обслуживания.

Заключение

Разработан комплексный метод прогнозирования эксплуатационного состояния дорожных одежд путём построения ряда моделей ИНС с различным количеством нейронов в пределах двух скрытых слоёв для расчёта значений интегрального уровня сохранности автомобильной дороги с использованием показателей структурного и эксплуатационного состояния набора участков дорожной одежды, а также разработка плана управления жизненным циклом содержания дорожной одежды.

Благодарности

Исследования проводятся в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (заявка МК-242.2022.4.).

Исследователь Елиами Мохамед Мостафа финансируется за счет стипендии в рамках исполнительской программы между Арабской Республикой Египет и Российской Федерацией; я выражаю им свою благодарность и признательность.

Литература

1. Majstorovic A., Jajac N. Maintenance Management Model for Nonurban Road Network // Infrastructures. 2022. № 6 (7). p. 80. URL: doi.org/10.3390/infrastructures7060080.
2. Marovic I., Androjic I., Jajac N., Hanak T. Urban Road infrastructure maintenance planning with application of neural networks // Complexity. 2018. URL: doi.org/10.1155/2018/5160417.
3. Ameri M., Jarrahi A. An executive model for network-level pavement maintenance and rehabilitation planning based on linear integer programming // Journal of Industrial & Management Optimization. 2020. № 2 (16). Pp. 795–811.



4. Углова Е. В., Тиратурян А. Н., Акулов В. В., Валенцев Д. А., Шаталов В. Ю. Учет вероятностной составляющей при назначении проектных модулей упругости слоев асфальтобетона // Инженерный вестник Дона. – 2016. №. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3647.

5. Karleusa B., Dragicevic N., Deluka-Tibljias A. Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure // Journal of the croation Association of civil engineering. 2013. Pp. 619-631.

6. Ramachandran S., Rajendran C., Amirthalingam V. Decision support system for the maintenance management of road network considering multi-criteria // International Journal of Pavement Research and Technology. 2019. № 3 (12). Pp. 325–335. URL: doi.org/10.1007/s42947-019-0039-7.

7. Sundin S., Braban- Ledoux C. Artificial intelligence–based decision support technologies in pavement management // Computer- Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2001. № 2 (16). Pp. 143–157.

8. Elbagalati O., Elseifi M. A., Gaspard K., Zhang Z. Development of an enhanced decision-making tool for pavement management using a neural network pattern-recognition algorithm // Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements. 2018. № 2 (144). p. 4018018. URL: doi.org/10.1061/JPEODX.0000042.

9. Елшами М. М. М., Тиратурян А. Н., Канищев А. Н. Использование искусственных нейронных сетей для определения модулей упругости конструктивных слоев нежестких дорожных одежд по натурным данным // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 2 (58). – С. 111–120.

10. Тиратурян А. Н., Симакова А. А., Бодров И. В., Фарниева М. В. Оценка надежности дорожной одежды на стадии эксплуатации // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4509.

References

1. Majstorovic A., Jajac N. Infrastructures. 2022. № 6 (7). p. 80. URL: doi.org/10.3390/infrastructures7060080.
2. Marovic I., Androjic I., Jajac N., Hanak T. Complexity. 2018. URL: doi.org/10.1155/2018/5160417.
3. Ameri M., Jarrahi A. Journal of Industrial & Management Optimization. 2020. № 2 (16). Pp. 795–811.
4. Uglova E. V., Tiraturian A. N., Akulov V. V., Valencev D. A., Shatalov V. Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3647.
5. Karleusa B., Dragicevic N., Deluka-Tibljias A. Journal of the croatian Association of civil engineering. 2013. Pp. 619–631.
6. Ramachandran S., Rajendran C., Amirthalingam V. International Journal of Pavement Research and Technology. 2019. № 3 (12). Pp. 325–335. URL: doi.org/10.1007/s42947-019-0039-7.
7. Sundin S., Braban- Ledoux C. Computer- Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2001. № 2 (16). Pp. 143–157.
8. Elbagalati O., Elseifi M. A., Gaspard K., Zhang Z. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements. 2018. № 2 (144). p. 4018018. URL: doi.org/10.1061/JPEODX.0000042.
9. Elshamy M. M. M., Tiraturian A. N., Kanishchev A. N. Scientific journal of construction and architecture. 2020. № 2 (58). Pp. 111–120.
10. Tiraturian A.N., Simakova A.A., Bodrov I.V., Farnieva M.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4509.