

Разработка автоматизированной системы планирования работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог

С.С. Панасенко, К.Н. Старков, Д.Д. Скоробогатченко

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Статья посвящена разработке автоматизированной системы, направленной на составление программы работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог. В основе системы лежат данные диагностики и оценки технического состояния автомобильных дорог, в частности, данные оценки международного индекса ровности (international roughness index – IRI). Составление программы работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог осуществляется на основе анализа оценки IRI как в краткосрочной перспективе, так и на временной горизонт работы подрядчика по контракту. Система разработана по принципу модульного программирования, где один из модулей использует полиномиальную регрессию для прогнозирования оценки IRI на несколько лет вперед. Анализ отклонения прогнозируемого значения IRI от фактического – является основой для выбора работ, включаемых в программу. Финансовый модуль позволяет системе соблюдать бюджетные рамки, ограниченные контрактом, и дает возможность оценить эффективность планирования путем вычисления разницы между затратами на обслуживание покрытия автомобильных дорог и стоимостью контракта. Практические исследования демонстрируют, что система способна эффективно и оперативно осуществлять планирование работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог в соответствии с установленными сроками контракта.

Ключевые слова: дорожное покрытие, автоматизированная система, модульное программирование, машинное обучение, рекуррентная нейронная сеть, состояние автомобильной дороги, международный индекс ровности, диагностика дорог, планирование дорожной работы, программа дорожной работы.

Согласно [1], в России наблюдается постоянное увеличение протяженности автомобильных дорог с течением времени (см. рис. 1). Данное обстоятельство влечет за собой увеличение расходов на обслуживание автомобильных дорог, (см. рис. 2). Для эффективного управления бюджетными средствами и предотвращения избыточных расходов в области обслуживания автомобильных дорог крайне важно своевременное планирование соответствующих работ [2].

Планирование дорожной деятельности осуществляется уполномоченными органами государственной власти Российской Федерации. Правительство РФ утвердило пятилетний план дорожного строительства, в рамках которого до 2027 года планируется крупномасштабное

финансирование работ на опорной сети автомобильных дорог Российской Федерации.

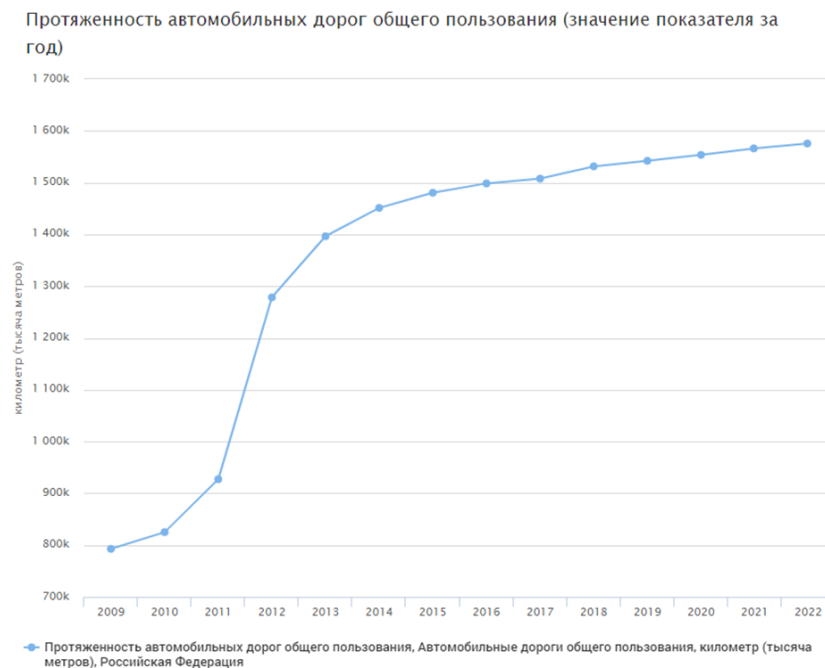


Рис. 1. – Протяженность автомобильных дорог общего пользования

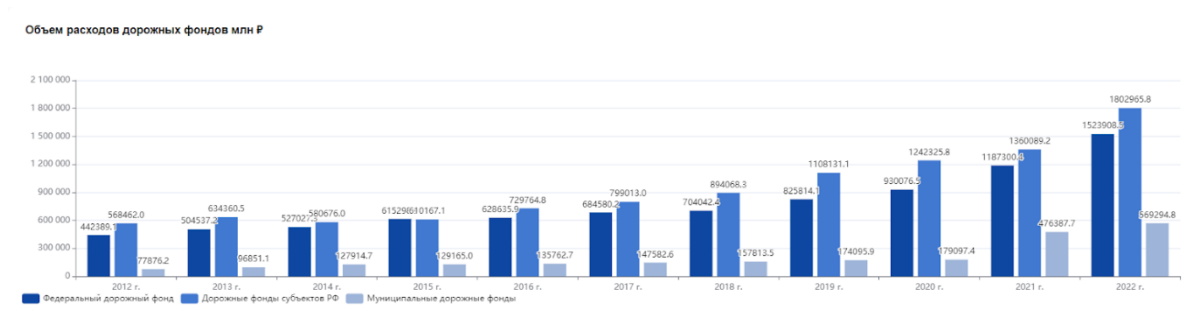


Рис. 2. – Объем расходов дорожных фондов

Данное обстоятельство требует создания автоматизированных систем, позволяющих осуществлять эффективное управление программой дорожных работ как на оперативном уровне, так и в рамках взаимодействия заказчика с подрядчиком на протяжении всего срока реализации государственного контракта.

На сегодняшний день существуют разнообразные системы, способствующие оптимизации процессов контроля и планирования в сфере

дорожной инфраструктуры [3, 4]. В частности, можно отметить программно-аппаратный комплекс «Эскандор» [5], который предназначен для непрерывной диагностики автодорог. Комплекс способен эффективно планировать расходы на текущий и капитальный ремонт дорог.

Также можно выделить систему контроля и планирования работ в области дорожной инфраструктуры (СКПДИ), которая автоматизирует процесс мониторинга содержания и текущего ремонта дорог. Кроме того, данная система обеспечивает надежный контроль за выполнением работ подрядчиками, сопровождаемый строгим соответствием оплаты результатам этих работ и точным соблюдением установленных сроков.

Однако несмотря на то, что использование представленных систем позволило автоматизировать выполнение различных задач, связанных с контролем и планированием работ в области дорожной инфраструктуры, комплексная автоматизация всего процесса на данный момент реализована не в полной мере. В существующих системах отсутствует функционал рекомендации оптимальных работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог и функционал адаптации к изменениям потребностей в проведении работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог. Также взаимодействие между заказчиками и подрядчиками усложнено отсутствием интеграции с внешними ресурсами для составления смет дорожных работ. Все эти обстоятельства вызывают необходимость разработки автоматизированной системы планирования дорожной деятельности, с возможностью рекомендательной функции для составления планов дорожных работ.

Цель исследования – разработка автоматизированной системы планирования работ по содержанию покрытия автомобильных дорог на основе прогнозирования изменения международного индекса ровности (international roughness index – IRI) покрытия.

Материалы и методы

Предлагаемая автоматизированная система планирования работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог реализована в виде клиент – серверного приложения. Взаимодействие модулей в системе представлено на диаграмме потока данных (см. рис. 3).

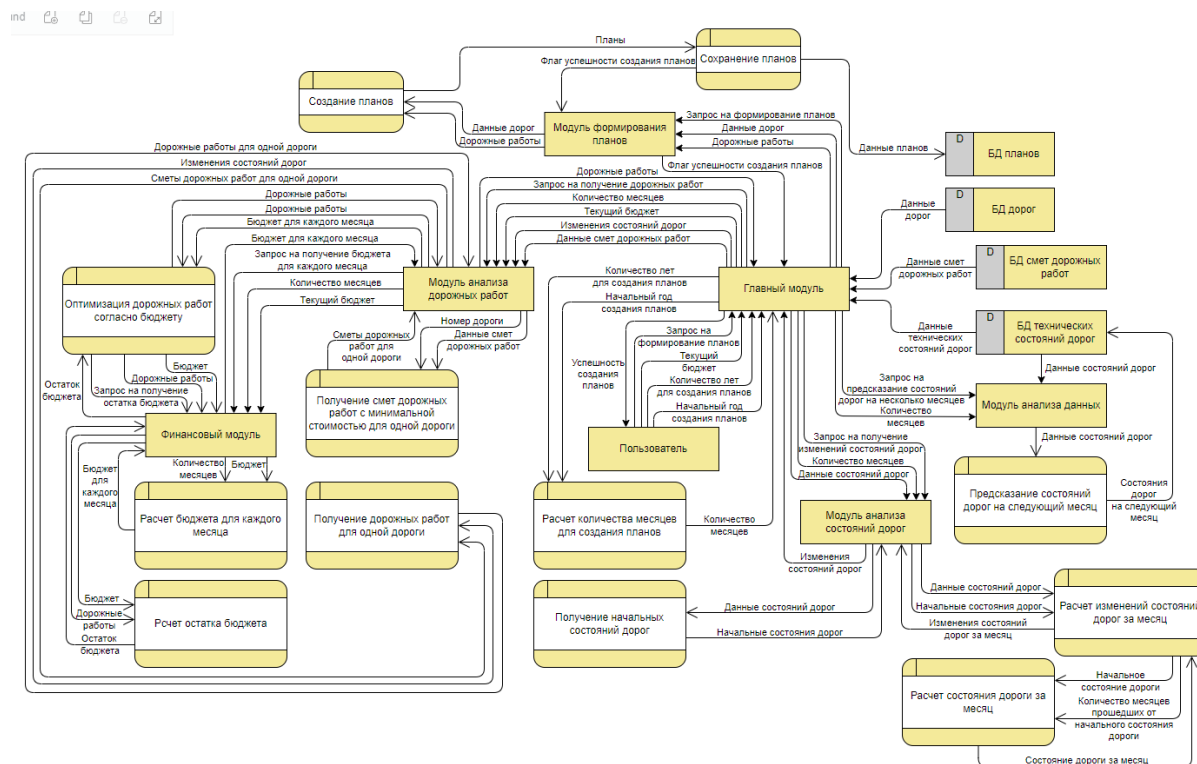


Рис. 3. – Декомпозиция диаграммы потока данных в системе

Рассмотрим его подробнее. Главный модуль организует взаимодействие всех остальных модулей с базой данных. База данных системы состоит из таблиц «Дороги», «Сметы дорожных работ», «Программы дорожных работ» и «Технические состояния дорог» (см. рис. 4).

Сметы, созданные с помощью внешнего ресурса для составления смет, такого как «ГРАНД-смета», сохраняются в файловом хранилище в формате таблиц XLS. Взаимодействие системы с «ГРАНД-сметой» представлено на диаграмме потока данных (см. рис. 5).

Согласно рекомендациям по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог, при оценке технического состояния

автомобильных дорог, предполагается использование балльной системы для оценки состояния покрытия дорог.

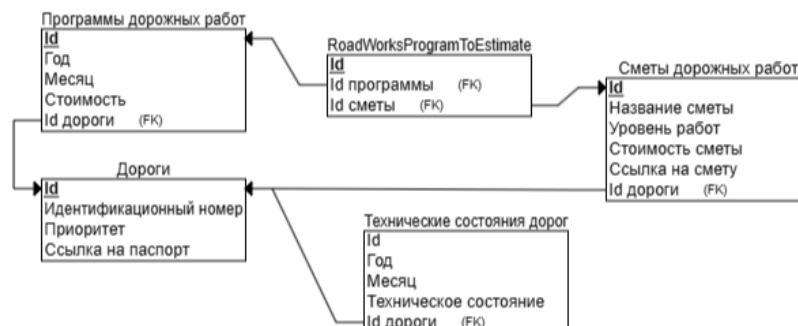


Рис. 4. – Реляционная схема базы данных системы

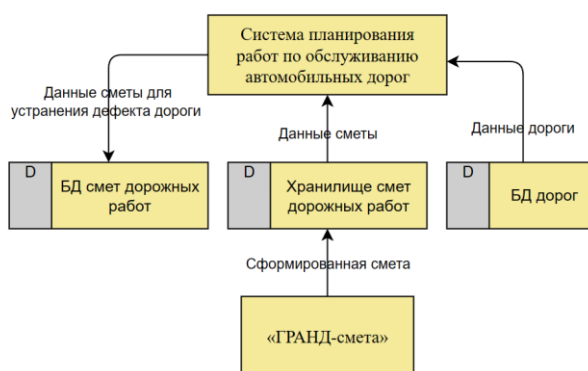


Рис. 5. – Декомпозиция диаграммы потока данных системы и «ГРАНД-СМЕТЫ»

Таким образом, для разрабатываемой системы, предполагается использование изменений балльной оценки IRI в течение нескольких лет (см. рис. 6) в качестве данных для оценки технического состояния автомобильных дорог.

В целях разработки методики планирования восстановительных работ был проведен обширный анализ современных нейронных сетей и методов машинного обучения [6], включая базовую нейронную сеть с использованием библиотеки Keras, сети с долгой краткосрочной памятью

(long short-term memory – LSTM) и простые рекуррентные нейронные сети [7].

Идентификационный номер дороги	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
00 ОП ФЗ Р-1	4,1	5	4,1	4,8	5	4,1	4,8	3,9	5	4,1	5	4,1
00 ОП ФЗ Р-10	0,8	0,4	0,2	0,1	1,1	0,4	0,2	0,1	0,9	0,3	0,1	0,1
00 ОП ФЗ Р-11	1,6	0,9	2,7	1,9	1,3	2,1	1,3	2,8	2	1,4	1,8	2,8
00 ОП ФЗ Р-12	1,7	0,9	2,3	1,5	2,4	1,6	3,2	2,3	1,7	1,3	3,1	2,2
00 ОП ФЗ Р-13	1	2,3	1,5	2,6	1,8	3,4	2,5	1,9	1,4	2	1,2	2,1
00 ОП ФЗ Р-14	1,7	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	1,7	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1
00 ОП ФЗ Р-15	0,2	0,1	0,3	0,7	0,2	0,1	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1	0,7
00 ОП ФЗ Р-16	5	4,1	4,4	3,5	5	4,1	4,6	3,7	5	4,1	5	4,1
00 ОП ФЗ Р-17	5	4,1	5	4,1	5	4,1	5	4,1	5	4,1	3,4	5
00 ОП ФЗ Р-18	3,9	5	4,1	5	4,1	5	4,1	4,4	3,5	5	4,1	4,6
00 ОП ФЗ Р-19	3,4	5	4,1	5	4,1	5	4,1	4,8	3,9	4,2	5	4,1
00 ОП ФЗ Р-2	1	2,6	1,8	1,2	2,4	1,6	2,2	1,4	2,1	2,3	1,5	1
00 ОП ФЗ Р-20	4,1	5	4,1	5	4,1	5	4,1	5	4,1	5	4,1	5
00 ОП ФЗ Р-3	0,9	0,3	0,1	0,1	1,3	0,6	0,3	0,1	0,1	1,3	0,6	0,3
00 ОП ФЗ Р-4	0,1	1,7	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	1,7	0,9	0,5
00 ОП ФЗ Р-5	5	4,1	5	4,1	4,8	5	4,1	5	4,1	5	4,1	5
00 ОП ФЗ Р-6	0,1	0,9	0,3	0,1	0,1	1,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,5	1,3
00 ОП ФЗ Р-7	2,1	1,5	1,1	3	2,1	1,5	1,1	2	3,4	2,5	1,9	1,4
00 ОП ФЗ Р-8	0,1	0,1	0,5	1,1	0,4	0,2	0,1	1,3	0,6	0,3	0,1	0,1
00 ОП ФЗ Р-9	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	1,3	0,6	0,3	0,1	0,1	0,7	0,2

Рис. 6. – Изменение балльной оценки дефектов на протяжении года для нескольких дорог

Также для анализа использовались различные популярные методы машинного обучения, включая линейную регрессию (Linear Regression), полиномиальную регрессию (Polynomial Regression), дерево решений (Decision Tree), случайный лес (Random Forest), метод опорных векторов (support vector regression – SVR), метод k-ближайших соседей (k-nearest neighbors – KNN), градиентный бустинг (Gradient Boosting) и усовершенствованный вариант градиентного бустинга (extreme gradient boosting – XGBoost).

Результаты прогнозирования балльных оценок IRI на основе указанных методов машинного обучения оценивались по средней квадратичной ошибки (root mean squared error – RMSE) и средней абсолютной ошибки (mean absolute error – MAE) [8] (табл. 1).

На основе анализа метрик было установлено, что для прогнозирования балльных оценок IRI при планировании дорожных работ предпочтительнее применять полиномиальную регрессию.

Модуль анализа технических состояний дорог используется для определения разницы между прогнозируемыми и фактическими балльными оценками IRI на протяжении нескольких лет, что позволяет выявить необходимость проведения работ по обслуживанию автомобильных дорог.

Таблица № 1

Оценка точности прогнозирования

Методы машинного обучения	RMSE	MAE
Linear Regression	0.431	0.505
Polynomial Regression	0.286	0.455
Decision Tree	1.441	1
Random Forest	0.591	0.690
SVR	0.333	0.471
Neural Network	0.485	0.587
LSTM	0.297	0.456
Simple RNN	0.555	0.575
GRU	0.555	0.592
KNN	0.494	0.617
Gradient Boosting	0.743	0.781
XGBoost	1.155	0.917

Фактические значения IRI могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$IRI = a + b \times AGE + c \times N$$

где AGE – срок с момента ввода дороги в эксплуатацию, годы; N – суточная интенсивность движения, авт./сут.; a , b , c – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа покрытия и значения дороги [9].

Результаты

В ходе исследования авторами спроектирована автоматизированная система планирования работ по содержанию покрытия автомобильных дорог. Система использует полиномиальную регрессию, с целью прогнозирования балльных оценок IRI при составлении планов работ в рамках

государственных контрактов. На основе полученных прогнозных данных, система способна составлять программу дорожных работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог.

Важной особенностью системы является то обстоятельство, что после фактического выполнения программы работ текущего года в соответствии с [10], объемы работ на оставшийся период государственного контракта будут скорректированы автоматически. Для иллюстрации работы разработанного приложения был представлен фрагмент программы для дороги "Волгоград (от г. Волжский) - Астрахань" к х. Заяр (см. рис. 9).

Программа дорожных работ для дороги ([18 ОП РЗ 18Р-1-2](#)) за 2024 год

Месяц	Названия смет	Стоимость программы	Операции
Январь	Смета на планирование и проведение регулярной диагностики состояния дорожного покрытия. Смета на планирование и проведение регулярной диагностики состояния дорожного покрытия. Смета на поддержание и ремонт асфальтового покрытия. Смета на поддержание и ремонт асфальтового покрытия.	120000	Изменить Удалить
Февраль	Смета на планирование и проведение регулярной диагностики состояния дорожного покрытия. Смета на планирование и проведение регулярной диагностики состояния дорожного покрытия. Смета на поддержание и ремонт асфальтового покрытия. Смета на поддержание и ремонт асфальтового покрытия.	120000	Изменить Удалить

Рис. 9. – Фрагмент программы работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог для дороги с идентификатором 18 ОП РЗ 18Р-1-2 за 2024 год

Заключение

Разработанная авторами система значительно упрощает процесс составления планов работ по обслуживанию дорожного покрытия, освобождая подрядные организации от необходимости проведения сложных аналитических расчетов и предоставляя готовые программы работ. Благодаря своей адаптивности, система может быстро реагировать на изменения данных, полученных в результате повторной диагностики автодорог. Автоматизация процесса составления планов существенно повышает

эффективность планирования работ по обслуживанию покрытия автомобильных дорог и оптимизирует распределение бюджетных средств. Точность моделей исследования позволяет пользователям системы оперативно взаимодействовать путем составления и корректировки планов с учетом их фактического выполнения.

Литература

1. Официальные статистические показатели // ЕМИСС государственная статистика URL: fedstat.ru/ (дата обращения: 20.05.2024).
2. Протяженность дорожной сети по данным официального статистического учета: Российская Федерация // СКДФ URL: скдф.рф/indicators/Дорожная%20сеть (дата обращения: 20.05.2024).
3. Серeda П.О. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по информации, полученной с использованием беспилотного летательного аппарата // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4822.
4. Романенко И.И. Автоматизация дорожно-строительных работ при применении информационных систем и 3D моделей // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5620.
5. Эскандор // СПЕЦМАШ диагностика. URL: escandor.ru/ (дата обращения: 20.05.2024).
6. Передерий В.А., Рысин М.Л. Сравнительная характеристика библиотек машинного обучения для внедрения искусственного интеллекта в CRM-систему // Инженерный вестник Дона, 2024, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9160.
7. Zhang X., Zhong C., Zhang J., Wang T., Ng W. Robust recurrent neural networks for time series forecasting // Neurocomputing. 2023. V. 526. P. 143-157.

8. Ritha Nyirandayisabye, Huixia Li, Qiming Dong, Theogene Nakuzweyezu, François Nkinahamira Automatic pavement damage predictions using various machine learning algorithms: Evaluation and comparison // Results in Engineering. 2022. V. 16. P. 100657.

9. Скоробогатченко Д.А., Забазнов А.С. Прогнозирование ровности покрытия автомобильных дорог с учетом погодно-климатического воздействия и уровня работ по содержанию // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. №2. С. 98-109.

10. Бождай А. С., Паршин И. С. Адаптация программных систем на основе функционального подхода // Вестник Пензенского государственного университета. 2020. №3. С. 160-166.

References

1. Ofitsial'nye statisticheskie pokazateli. EMISS gosudarstvennaya statistika [Official statistical indicators. EMISS State statistics]. URL: fedstat.ru/ (accessed 20/05/24).

2. Protyazhennost' dorozhnoy seti po dannym ofitsial'nogo statisticheskogo ucheta: Rossiyskaya Federatsiya. SKDF [The length of the road network according to official statistics: Russian Federatio. SKDF]. URL: скдф.рф/indicators/Дорожная%20сеть (accessed 20/05/24)

3. Sereda P.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4822.

4. Romanenko I.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5620.

5. Escandor. SPETsMASH diagnostika [Escandor. SPETsMASH diagnostics] URL: escandor.ru/ (accessed 20/05/24).

6. Perederiy V.A., Rysin M.L. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9160.



7. Zhang X., Zhong C., Zhang J., Wang T., Ng W. Neurocomputing. 2023. V. 526. pp. 143-157.
8. Ritha Nyirandayisabye, Huixia Li, Qiming Dong, Theogene Hakuzweyezu, François Nkinahamira Automatic pavement damage predictions using various machine learning algorithms: Evaluation and comparison // Results in Engineering. 2022. V. 16. P. 100657.
9. Skorobogatchenko D.A., Zabaznov A.S. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura, 2018. № 2. pp. 1-10.
10. Bozhday A. S., Parshin I. S. Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2020. № 3. pp. 160-166

Дата поступления: 21.04.2024

Дата публикации: 30.05.2024