

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

## SOFTWARE FOR VISUALIZATION OF INFORMATION ON THE STATE OF ROAD NETWORK OBJECTS

**A. Tsesar  
O. Ivashchuk**

*Summary.* A brief review of geoinformation systems, the most common in Russia, is made. The possibilities of software for visualizing information about the state of road network objects, created by domestic developers, are described in more detail. The basic principles underlying the development of specialized software for visualizing information about the state of road network objects are given and a brief description of the main subsystems is given. The visualization subsystem and the calculation system are considered in more detail. The joint use of subsystems for storage, information visualization, calculations and output of data on the state of road network objects ensures the implementation of all software functionality.

The dependences for calculating the index of the road surface condition on the basis of monitoring data collected by mobile complexes for the multi-criteria assessment of the operational state of the objects of the road network «ADS-MADI» are given. The necessity of taking into account environmental factors, the properties of pavement materials, the quality and timing of repairs, the sufficiency of funding in assessing the index of the condition of the pavement and predicting the residual life of the pavement is substantiated. The results of visualization of the results of monitoring the objects of the street and road network of the city of Moscow in 2019–2020 are presented. in the form of diagrams and on the «heat map». The resulting pavement condition index values can be used by decision makers to assess the condition of the pavement, predict the time required for maintenance and repair activities, and estimate future funding needs.

*Keywords:* software, road network, visualization, geoinformation system, indexes.

**Цесарь Алексей Александрович**

Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
4drv@mail.ru

**Иващук Ольга Александровна**

Доктор технических наук, профессор,  
Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет  
ivaschuk@bsu.edu.ru

*Аннотация.* Выполнен краткий обзор геоинформационных систем, наиболее распространенных в России. Более подробно описаны возможности программного обеспечения для визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети, созданного отечественными разработчиками. Приведены основные принципы, положенные в основу разработки специализированного программного обеспечения визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети и дано краткое описание основных подсистем. Более подробно рассмотрена подсистема визуализации и система расчетов. Совместное использование подсистем хранения, визуализации информации, расчетов и вывода данных о состоянии объектов улично-дорожной сети обеспечивает выполнение всего функционала программного обеспечения.

Приведены зависимости для вычисления индекса состояния дорожного покрытия на основании данных мониторинга, собранных передвижными комплексами многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ». Обоснована необходимость учета факторов окружающей среды, свойств материалов покрытия, качества и сроков проведения ремонтных работ, достаточность финансирования при оценке индекса состояния дорожного покрытия и прогнозировании остаточного срока службы покрытия. Приведены результаты визуализации результатов мониторинга объектов улично-дорожной сети города Москвы в 2019–2020 годах. в виде диаграмм и на «тепловой карте». Полученные значения индекса состояния дорожного покрытия могут использоваться лицами, принимающими решения, для оценки состояния дорожного покрытия, прогнозирования времени, необходимого для проведения мероприятий по эксплуатации и ремонту, и оценки будущих потребностей в финансировании.

*Ключевые слова:* программное обеспечение, улично-дорожная сеть, визуализация, геоинформационная система, индексы.

### Введение

**П**рограммное обеспечение для визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети (УДС) достаточно широко представлено как отечественными (ГеоГраф, ГрафИн, Горизонт, Ин-Гео, ПАРК, АРГО, ПроГео, GeoLink, GK 32, Zulu, WinPlan и др.), так и зарубежными разработчиками (MapInfo Professional, WinGIS, ArcGIS, ArcView GIS, Autodesk Map,

GeoMedia Professional, MicroStation, Manifold System Professional и др.). Это программное обеспечение относится к классу геоинформационных систем (ГИС) и обеспечивает сбор, хранение, анализ и визуализацию пространственных (географических) данных и связанной с ними различной информации об объектах. К специфическим функциям такого ПО относятся выполнение картометрических операций, наложения слоев и их пространственный анализ, построение

цифровых моделей рельефа, включая трехмерные изображения [1].

Наибольшее распространение в России имеют программные продукты ArcGIS и ArcView компании ESRI, семейство продуктов GeoMedia корпорации Intergraph и MapInfo Professional компании Pitney Bowes MapInfo. Используются также другие программные продукты отечественной и зарубежной разработки (Bentley's MicroStation, IndorGIS, ITSGIS, Zulu, 2GIS (ДубльГИС), DataGraf, NextGIS, и др.).

ПО Mapinfo позволяет создавать тематические карты, а также строить 3D-ландшафты. Mapinfo включает инструмент оцифровки материала и его обмена с другими организациями в разных форматах (bmp, tif, jpg и wmf). Российским аналогом этой программы является кроссплатформенная автоматизированная геоинформационная системы «Аксиома» (ООО «ЭСТИ») (<https://axioma-gis.ru/>). Еще одной отечественной разработкой является бесплатное облачное ПО NextGIS (компания NextGIS) (<https://nextgis.ru/nextgis-com/>), которое позволяет создавать веб-карты с произвольными настройками и стилями слоев, а также рассматривать и анализировать эти карты, встраивать и обновлять карты из QGIS.

Наиболее близким по целевому назначению является геоинформационная система автомобильных дорог IndorRoad (компания ИндорСофт) (<https://www.indorsoft.ru/products/road/>), которая предназначена для учёта и паспортизации, управления эксплуатацией и сопровождения всего жизненного цикла автомобильных дорог. В ней предусмотрено хранение данных, собранных в ходе диагностики и их отображение на карте в виде картограмм. ПО обеспечивает также формирование плана дорожно-ремонтных работ на основе данных диагностики в соответствии с ОДМ 218.4.039–2018.

Профессиональная ГИС «Панорама» (фирма «Панорама КБ») (<https://gisinfo.ru/>) предназначена для создания и редактирования цифровых карт и планов городов, обработки данных, выполнения различных измерений и расчетов, оверлейных операций, построения 3D моделей, обработки растровых данных, подготовки графических документов в цифровом и печатном виде, а также для работы с базами данных.

В РФ ведется разработка единой интеллектуальной платформы «Управление автомобильными дорогами и транспортом» (компания RBS) (<https://rbs.partners/>), представляющей собой решение для автоматизации процессов управления объектами дорожно-транспортной инфраструктуры,

Краткий обзор наиболее интересных в рассматриваемой предметной области ГИС позволяет сделать вывод

о необходимости их дальнейшего развития в плане совершенствования методов обработки и анализа информации с целью интеллектуализации принятия управленческих решений [2].

## Модели и методы

### Принципы разработки и состав ПО

Проведение работ в этом направлении позволило авторам разработать программное обеспечение для сбора, обработки хранения, поиска и визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети и предоставления сведений, содержащихся в автоматизированном банке дорожных данных (АБДД). При его разработке авторы руководствовались следующими принципами:

- принцип комплексности — основные информационные ресурсы и автоматизированные процессы должны реализовываться на основе общей территориально-распределенной архитектуры, едином пространстве справочной информации, общего пользовательского интерфейса;
- принцип распределенности — архитектура программно-технического комплекса поддерживает взаимодействие распределенных площадок и обеспечивает механизм удаленного взаимодействия пользователей по сети Internet/Intranet;
- принцип минимизации — уменьшение количества бумажных документов за счет их замены электронными версиями;
- принцип надежности — должна определяться отсутствием отказов в работе, приводящих к остановке на период более 3 часов чаще 1 раза в неделю.
- принцип защищенности — должна обеспечиваться сохранность информации, в том числе персональных данных и служебных сведений, от несанкционированного доступа, копирования, изменения, удаления при условии использования соответствующей инфраструктуры при условии использования специализированных средств защиты информации.

ПО построено по модульному принципу и представляет собой функционально полный законченный продукт, обеспечивающий:

- сбор данных из различных источников;
- предварительную обработку собираемых данных (фильтрация, пересчет, ...);
- накопление собираемых данных в АБДД;
- архивирование данных за определенный период времени;
- формирование отчетов;
- отображение данных в реальном времени в интерфейсе (графики, таблицы, столбчатые/круговые диаграммы, «тепловая карта» объекта).

Доступ к ПО возможен как в пользовательском (работа с открытой информацией), так и в административном (реализация системных функций) режимах.

Ввод-вывод данных, прием управляющих команд и отображение результатов их исполнения выполняются в интерактивном режиме. Интерфейс соответствует современным эргономическим требованиям и обеспечивает удобный доступ к основным функциям и операциям.

В рамках проведения мероприятий по проектированию базы данных была разработана логическая и физическая структуры базы данных [3]. Логическая структура базы данных содержит следующую информацию: описание логического блока и рисунок с составными частями логического блока. Физическая структура базы данных была разработана на основе логической структуры и включает таблицы, их атрибутивный состав, формат данных и связи между таблицами. В базу данных были загружены сведения по всем объектам УДС — данные, полученные в ходе мониторинга в электронном виде в установленных форматах (продольная ровность, поперечная ровность, плотность ремонтных карт, плотность трещин). Подсистема визуализации предназначена для обеспечения графического представления пространственных данных, а также для визуализации сведений, полученных в результате работы комплексов многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ» [4].

Подсистема визуализации состоит из следующих основных частей:

- модуля выбора и мониторинга объекта;
- модуля редактирования объекта;
- модуля обработки изображений;
- модуля актуализации справочной информации;
- модуля формирования «тепловой карты».

Необходимыми дополнениями являются подсистема хранения данных и подсистема расчетов и вывода данных. Подсистема хранения данных реализована средствами стандартной СУБД реляционного типа (Postgres или MSSQL). БД содержит данные о результатах диагностики (данные об объектах измерений), преобразованные данные измерений, данные о параметрах съемки, данные о дорожных объектах (тип, класс, размеры, координаты), данные о вычисленных характеристиках участка УДС. Также в базе данных хранится ряд вспомогательных таблиц-списков необходимых для технического сопровождения работ по мониторингу автомобильных дорог, данные о визуальном осмотре и фотофиксации, данные о результатах исследования кернов, данные об используемых дорожно-строительных материалах.

В подсистеме расчетов и формирования выходных отчетов выполняется вычисление показателей, характери-

зующих эксплуатационное состояние объектов улично-дорожной сети (показатель PCI), формируется сводная таблица по объектам УДС с возможностью выбора рассчитанных значений по идентификатору объекта дорожного хозяйства. В состав подсистемы расчетов и вывода данных входит модуль подготовки и выгрузки отчетов. В отчетах указывается следующая информация: значение продольной ровности на участке дороги; среднее и максимальное значение поперечной ровности для каждой полосы; среднее и максимальное значение плотности трещин для каждой полосы; среднее и максимальное значение плотности карт и разрушений для каждой полосы.

Совместное использование подсистем хранения, визуализации информации, расчетов и вывода данных о состоянии объектов улично-дорожной сети (УДС) обеспечивает удобную и наглядную визуализацию информации о состоянии объектов улично-дорожной сети.

#### Модели расчета индекса состояния дорожного покрытия

Для оценки состояния дорожного покрытия используется ряд методов оценки состояния дорожного покрытия, двумя из которых являются Международный индекс ровности (IRI) и Индекс состояния дорожного покрытия (PCI) [5–7]. IRI обычно измеряется с помощью специализированного оборудования, которое вычисляет плавность и качество движения на участке проезжей части с использованием компьютерных алгоритмов, в то время как PCI основан на субъективной оценке количества повреждений дорожного покрытия

В РФ считается, что ровность дорожного покрытия является основным фактором, влияющим на безопасность дорожного движения. Имеются многочисленные доказательства того, что ухудшение качества дорожного полотна приводит к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий, снижению пропускной способности дороги и к снижению индексов IRI и PCI [8–12]. Было обнаружено, что на дорожное покрытие влияет несколько факторов неровности, включая транспортную нагрузку, климатические факторы, тип дорожного покрытия, тип дренажа, свойства земляного полотна и качество строительства. В нашей стране для прогнозирования ровности дорожного покрытия широко используется модель. [13], позволяющая учесть прочностные характеристики покрытия, определяющие нарушение поперечной ровности. В большинстве моделей не оценивается комплексное влияние первичной ровности, интенсивности движения, модуля упругости дорожной одежды, ее однородности, условий эксплуатации и климатических условий [14, 15].

Взяв за основу подход, предложенный в [17] введем в рассмотрение следующие индексы, ориентированные

на нормативные значения, принятые в нашей стране, и приведенные к шкале в диапазоне от нуля до ста:

1. Индекс поперечной ровности (ITE — Index of Transverse Evenness):

$$ITE = 100 - \left( \frac{\text{Transverse evenness}}{20} \right) * 100, \quad (1)$$

так как предельно допустимое значение поперечной ровности равно 20 мм/м, то  $ITE = 0$  при достижении граничного значения и  $ITE = 100$ , когда поперечная ровность равна нулю.

2. Индекс продольной ровности (ILE — Index of Longitudinal Evenness):

$$ILE = \left( \frac{IRI - 4,22}{0,5 - 4,22} \right) * 100, \quad (2)$$

так как предельно допустимое значение продольной ровности равно 4,22 мм/м, то  $ILE = 0$  при достижении граничного значения и  $ILE = 100$ , когда международный индекс ровности равен 0,5.

3. Индекс плотности трещин (ICD — Index of Crack Density):

$$ICD = 100 - \left( \frac{\text{Crack Density}\%}{3\%} \right) * 100, \quad (3)$$

так как предельно допустимое значение плотности трещин равно 3 %, то  $ICD = 0$  при достижении граничного значения и  $ICD = 100$ , когда трещины отсутствуют.

4. Индекс плотности ремонтных карт (IRCD — Index of Repair Card Density):

$$IRCD = 100 - \left( \frac{\text{Плотность ремонтных карт}\%}{6,44\%} \right) * 100, \quad (4)$$

так как предельно допустимое значение плотности ремонтных карт равно 6,44 %, то  $IRCD = 0$  при достижении граничного значения и  $IRCD = 100$ , когда ремонтные карты отсутствуют.

Тогда индекс состояния дорожного покрытия  $PCI$  может быть рассчитан путем объединения четырех вычисленных коэффициентов с учетом весов  $0 \leq \beta_i \leq 1, i = 1, \dots, 4, \sum_{i=1}^4 \beta_i = 1$ , заданных экспертами, которые учитывают степень «важности» каждого индекса:

$$PCI = \beta_1 * ITE + \beta_2 * ILE + \beta_3 * ICD + \beta_4 * IRCD \quad (5)$$

$$PCI = 0,3 * ITE + 0,3 * ILE + 0,2 * ICD + 0,2 * IRCD \quad (6)$$

В случае отсутствия одного из показателей или целой группы (вследствие ошибки измерений или невозможности проведения работ) в расчет может быть включен один показатель. При этом его вес будет изменен пропорционально составу группы.

### Результаты

В ходе мониторинга объектов УДС с использованием комплексов многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ» собирается информация о продольной и поперечной ровности (Таблица 1), плотности трещин и плотности ремонтных карт (Таблица 2). В основе полу-

Таблица 1.

Фрагмент исходных данных по продольной и поперечной ровности

Наименование объекта	S пр. ч., кв.м	ПРОДОЛЬНАЯ РОВНОСТЬ					ПОПЕРЕЧНАЯ РОВНОСТЬ				
		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением	
					%	кв.м				%	кв.м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Мая улица	3324,0	7,8	2,8	6,0	12,5	415,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10-й проезд Марьиной Рощи	2145,3	13,6	4,4	7,1	44,6	957,7	10,9	6,4	0,0	0,0	0,0
10-летия Октября ул.	6951,0	14,5	1,1	6,9	10,5	731,7	19,7	7,0	0,0	0,0	0,0
11-й проезд Марьиной Рощи	2985,0	14,0	4,5	8,2	56,8	1694,2	27,0	7,8	24,5	2,7	80,7
11-й проспект	7029,9	14,7	7,7	9,5	76,3	5360,3	16,2	4,5	0,0	0,0	0,0
11-я улица Текстильщиков	8608,3	13,6	0,3	7,8	9,6	829,2	55,2	11,1	31,4	18,8	1619,0
12-й проезд Марьиной Рощи	2364,4	15,3	8,2	9,0	87,9	2079,0	19,7	15,9	0,0	0,0	0,0
12-я Новокузьминская улица	5046,1	9,3	3,8	6,7	34,1	1720,3	39,7	8,0	26,0	5,7	286,7
13-й проезд Марьиной Рощи	4605,4	13,7	7,0	8,7	74,3	3422,9	23,2	12,7	22,4	2,7	124,5



Таблица 2.

Фрагмент исходных данных по плотности трещин и плотности ремонтных карт

Наименование объекта	S пр. ч., кв.м	ПЛОТНОСТЬ ТРЕЩИН					ПЛОТНОСТЬ РЕМОНТНЫХ КАРТ				
		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением	
					%	кв.м				%	кв.м
1	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 Мая улица	3324,0	6,5	1,6	4,6	15,0	498,6	45,3	2,4	14,8	13,8	457,1
10-й проезд Марьиной Рощи	2145,3	4,6	0,9	3,9	7,1	153,2	28,0	3,4	11,4	26,8	574,6
10-летия Октября ул.	6951,0	2,8	0,3	0,0	0,0	0,0	5,0	0,1	0,0	0,0	0,0
11-й проезд Марьиной Рощи	2985,0	4,0	0,6	3,9	2,7	80,7	31,4	2,3	14,7	14,9	443,7
11-й проспект	7029,9	3,5	0,8	3,5	1,3	87,9	32,4	0,9	21,1	3,8	263,6
11-я улица Текстильщиков	8608,3	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	5,3	0,1	5,2	0,9	79,0
12-й проезд Марьиной Рощи	2364,4	2,7	0,8	0,0	0,0	0,0	23,5	5,1	11,6	39,7	937,6
12-я Новокузьминская улица	5046,1	2,8	0,4	0,0	0,0	0,0	14,8	1,0	6,6	10,2	516,1
13-й проезд Марьиной Рощи	4605,4	4,9	0,8	4,1	2,7	124,5	45,5	3,3	15,0	20,3	933,5

Таблица 3.

Фрагмент результатов расчета индекса PCI

Наименование объекта	S пр. ч., кв.м	S пр. ч. с нарушением		ITE	ILE	ICD	IRCD	PCI
		%	кв.м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Мая улица	3324,0	32,5	1080,3	100,0	39,4	47,0	53,0	61,8
10-й проезд Марьиной Рощи	2145,3	64,3	1379,1	67,9	0,0	70,2	32,6	61,3
10-летия Октября	6951,0	10,5	731,7	65,0	83,1	89,9	97,8	82,0
11-й проезд Марьиной Рощи	2985,0	59,5	1774,9	61,2	0,0	81,1	53,8	63,7
11-й проспект	7029,9	77,5	5448,2	77,5	0,0	73,7	82,0	77,6
11-я улица Текстильщиков	8608,3	28,0	2408,7	44,7	100,0	95,4	97,6	82,0
12-й проезд Марьиной Рощи	2364,4	91,4	2160,6	20,4	0,0	74,7	0,0	42,1
12-я Новокузьминск ул	5046,1	44,3	2236,3	60,0	12,2	85,3	79,5	54,6
13-й проезд Марьиной Рощи	4605,4	77,0	3547,4	36,3	0,0	72,4	34,9	43,2
14-й проезд Марьиной Рощи	4330,1	67,9	2938,3	0,0	86,3	40,3	51,8	70,2
17-й проезд Марьиной Рощи	3264,5	55,7	1818,8	11,1	95,7	58,8	0,0	55,6
1812 г. улица	14894,8	84,0	12509,3	0,0	30,6	80,7	85,3	51,6

ченных параметров эксплуатационного состояния были рассчитаны индексы PCI. Срез результатов приведен в Таблице 3. Для визуализации геометрических объектов на одном из слоев ГИС была представлена цветовая градация в зависимости от полученного индекса PCI. Стиль, используемый для присвоения цвета приведен в Таблице 4.

Круговые диаграммы (Рис. 1) дают наглядное представление по цветовой индикации процентного соотношения

состояний дорожного покрытия в зависимости от индекса PCI.

Группировка состояний «Аварийное», «Предварийное», «Очень плохое» и «Плохое» в 2019 году составляла 48 %, а в 2020 году уже 56 %. Тогда как группировка состояний «Удовлетворительное», «Хорошее» и «Отличное» 2019 году составляла 52 % (Рис. 1.а), а в 2020 году уже только 44 % (Рис. 1.б). То есть износ дорожного полотна в г. Москве идет интенсивнее, чем его восстановление.



а) 2019 год



б) 2020 год

Рис. 1. Диаграммы индекса PCI

Таблица 4.

Стиль слоя ГИС.

Зависимость состояния дорожного покрытия от PCI

PCI	Состояние	Цвет	Пример
0–10	Аварийное	Темно серый	
10–25	Предаварийное	Темно красный	
25–40	Очень плохое	Красный	
40–55	Плохое	Светло красный	
55–70	Удовлетворительное	Желтый	
70–85	Хорошее	Светло зеленый	
85–100	Отличное	Темно зеленый	



Рис. 2. «Тепловая карта» г. Москвы за 2019 год



Рис. 3. «Тепловая карта» г. Москвы за 2020 год

Такой же результат визуально заметен и на «тепловой карте». Количество участков, с состоянием «Аварийное», «Предаварийное», «Очень плохое» и «Плохое» в 2019 году (Рис. 2) меньше, чем в 2020 году (Рис. 3)

### Заключение

Выполненный обзор наиболее интересных в рассматриваемой предметной области ГИС позволил сделать вывод о необходимости их дальнейшего развития в плане совершенствования методов обработки и анализа информации с целью интеллектуализации процесса принятия управленческих решений.

Описано разработанное авторами программное обеспечение для сбора, обработки хранения, поиска и визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети и предоставления сведений, содержащихся в автоматизированном банке дорожных данных (АБДД).

Предложены модели для вычисления индексов продольной и поперечной ровности, а также индексов плотности трещин и ремонтных карт, ориентированные на нормативные значения, принятые в нашей стране, и приведенные к шкале в диапазоне от нуля до ста. Приведена модель для расчёта индекса состояния дорожного покрытия PCI объединяющая все четыре индекса с учетом весов, заданных экспертами, которые учитывают степень «важности» каждого индекса:

Выполнены расчеты индексов PCI по данным диагностики улично-дорожной сети г. Москвы за 2019 и 2020 годы, собранной с использованием комплексов многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ». Результаты показывают, что износ дорожного полотна в г. Москве идет интенсивнее, чем его восстановление. Такой же результат визуально заметен и на «тепловой карте», где количество участков, соответствующих состояниям «Аварийное», «Предаварийное», «Очень плохое» и «Плохое» в 2019 году меньше, чем в 2020 году.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tkacheva O.A. et al. Computer technologies in cadastral practice: monograph / O.A. Tkacheva, E.G. Meshchaninova, A.A. Vechernaya, A.A. Ivanova, E.Yu. Voitenko. — Novocherkassk: Publishing house «NOK», 2011.
2. Fineeva, M.A., Vasiliev, Yu.E., Belyakov, A.B., Varshavskiy, C.B., Tsesar, A.A., 2020. Decision support system for street-road network objects repair. 2020. IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1159, International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control (DS ART 2020), Moscow, Russia, 1–13.
3. Fineeva, M.A., Vasiliev, Yu.E., Caesar, A.A.; Varshavsky, S.V. Design and actualization of the road database: 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications (SOSG 2022), 5–17 March 2022. IEEE. INSPEC Accession Number: 21699335. DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744376.
4. Vasiliev Y.E., Saakyan I.E., Fineeva MA, Varshavsky SV, Tsesar AA. Technology for collecting road data using satellite navigation system and the. International Scientific Conference «Digital Age: Traditions, Modernity, Innovations» (DATMI-2020).
5. Yang, X., Z. You, J. Hiller, et al., 2017. Sensitivity of flexible pavement design to Michigan's climate inputs using pavement ME design. /International Journal of Pavement Engineering, 18(7) 622–632.
6. Zhao, Y., Goulias, D., Peterson, D., 2021. Recycled Asphalt Pavement Materials in Transport Pavement Infrastructure: Sustainability Analysis & Metrics. Sustainability, 13(14), 8071.
7. Zavyalov, M.A., Kirillov, A.M., 2017. Evaluation methods of asphalt pavement service life. /Magazine of Civil Engineering, 2, 42–56.
8. Haider, S.W., Baladi, G.Y., Chatti, K., Dean, C.M., 2018. Effect of frequency of pavement condition data collection on performance prediction. Transportation Research Record, 2153(1), 67–80.
9. Jafari, H., Yahia, A., Amor, M. B., 2016. Life cycle assessment of pavements: reviewing research challenges and opportunities. Journal of Cleaner Production, 112, 2187–2197.
10. Meng Guo, Haiqing Liu, Yubo Jiao, et al., 2020. Effect of WMA-RAP Technology on Pavement Performance of Asphalt Mixture: A State-of-the-Art Review. Journal of Cleaner Production, 266 (1), 121704.
11. Park, K.; Thomas, N.; Lee, K.W. Applicability of the International Roughness Index as a Predictor of Asphalt Pavement Condition 1. J. Transp. Eng. 2007, 133, 706–709.
12. Shrestha, S., Katicha, S., Flintsch, G., 2019. Pavement Condition Data from Traffic Speed Deflectometer for Network Level Pavement Management. Airfield and Highway Pavements: Design, Construction, Condition Evaluation, and Management of Pavements. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 392–403.
13. Vasiliev, A.P. Repair and maintenance of highways // Reference encyclopedia of a road worker: in 2 vols. — Vol. 2. — M.: Informavtodor, 2004. — 1129 p.
14. Jin, C., Zhang, J.X., 2017. Summary of research on performance prediction of asphalt. Journal of China & Foreign Highway, 37(5), 31–35.
15. Mazari, M., Rodriguez, D.D., 2016. Prediction of pavement roughness using a hybrid gene expression programming neural network technique. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 3(5), 448–455.
16. Abed, A, Thom, N., Neves, L., 2019. Probabilistic prediction of asphalt pavement performance. Road Materials and Pavement Design, 20, 247–264.
17. Alhabri F. Predicting pavement performance utilizing artificial neural network (ANN) models. 2018. Graduate Theses and Dissertations. 16703 <https://lib.dr.iastate.edu/etd/16703>.

© Цесарь Алексей Александрович (4drv@mail.ru); Иващук Ольга Александровна (ivaschuk@bsu.edu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»