
Оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по информации, полученной с использованием беспилотного летательного аппарата

П.О. Серeda

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассматривается метод, позволяющий проводить оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги с использованием беспилотного летательного аппарата. При этом влияние характера и видов дефектов дорожного покрытия на расчетную скорость движения учитывается за счет введения частного коэффициента, который рассчитывается исходя из наличия, количества и относительной площади повреждений. Предлагаемый метод может быть использован для ускоренной оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги.

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортно-эксплуатационное состояние, повреждения дорожного покрытия, беспилотный летательный аппарат.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в настоящее время охватывает все больше областей народного хозяйства. Совершенствование технических характеристик БПЛА, фото и видеокамер, устанавливаемых на них в качестве полезной нагрузки, а также программного обеспечения, позволяющего с высокой точностью детализировать получаемые изображения и проводить фотограмметрические измерения, значительно расширяет области их применения. В настоящее время находят применение различные технические решения на основе БПЛА для мониторинга и диагностики автомобильных дорог, которые во многом позволяют заменить традиционные методы визуальных обследований дорог [1-3].

Важнейшим показателем транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги является расчетная скорость движения, выражаемая через коэффициент обеспеченности расчетной скорости $K_{pci}^{умог}$, который принимают за комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дороги на данном отрезке [4]. На значение итогового

коэффициента расчетной скорости будут влиять различные характеристики автомобильной дороги, такие как ширина проезжей части (укрепленной поверхности); ширина и состояние обочин; величина продольных уклонов; радиусы кривых в плане и уклоны виражей; состояние и прочность дорожной одежды; ровность в продольном направлении; ровность в поперечном направлении (колеиность) и др. Каждый из перечисленных показателей характеризуется величиной частного коэффициента K_{pci} расчетной скорости. Итоговый коэффициент принимается равным минимальному из всей совокупности частных коэффициентов на обследуемом участке автомобильной дороги:

$$K_{pci}^{умог} = K_{pci}^{\min}, \quad (1)$$

Зависимость частных коэффициентов от вышерассмотренных характеристик автомобильной дороги, а также методика их определения подробно рассмотрены в источниках [4, 5]. При этом, предполагается определение характеристик дороги с заданной точностью, с использованием соответствующих приборов и технических средств диагностики автомобильных дорог [6-10]. При использовании БПЛА в целях обследования автомобильных дорог за счет применения современных технических решений и программного обеспечения с достаточной точностью возможно определять такие показатели как тип дорожного покрытия, ширина проезжей части, радиусы кривых в плане, величина продольных уклонов и т.п. В свою очередь, определение таких показателей, как продольная и поперечная ровность, глубина колеи и т.п. с точностью сопоставимой с традиционными наземными приборами с помощью БПЛА на сегодняшний день невозможна. По полученным изображениям можно судить лишь о наличии повреждений, примерной их площади и размерах, наличии колеиности и других дефектах покрытия. Поэтому существующие методы

определения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги не позволяют в полной мере провести необходимые расчеты из-за недостатка получаемой от БПЛА информации.

В данной статье учет влияния состояния дорожного покрытия, различных видов повреждений, их количества и площади на итоговый коэффициент обеспечения расчетной скорости $K_{pci}^{умог}$ предлагается за счет введения коэффициента снижения расчетной скорости движения в зависимости от состояния покрытия $K_r \leq 1,0$, который определяется по зависимости:

$$K_r = \frac{1}{1 + a \cdot r}, \quad (2)$$

где a эмпирический коэффициент, учитывающий тип дорожного покрытия, согласно проведенным исследованиям для капитальных покрытий a можно принимать равным 3,6 [4];

коэффициент r учитывает степень деформированности дорожного покрытия, заключающиеся в наличии, количестве и площади различных видов повреждений.

Тогда итоговый коэффициент обеспечения расчетной скорости $K_{pci}^{умог}$ будет определяться как минимальный из всей совокупности частных коэффициентов с учетом K_r по зависимости:

$$K_{pci}^{умог} = \min \{ K_{pci}, K_r \}. \quad (3)$$

Для определения степени деформированности дорожной одежды r предлагается метод, основанный на исследованиях профессора Ю.М. Яковлева [4].

Сущность метода состоит в том, что, фиксируя фактическое состояние дорожной одежды (трещины, сетка трещин, просадка, колея и др.), можно оценить интегрально за прошлый период службы одежды процесс накопления дефектов и соответственно ее прочностное состояние.

Как было отмечено выше, достаточно подробные данные о состоянии дорожного покрытия, наличия и характера дефектов возможно получить при съемке видеокамерами, установленными на БПЛА и проведении соответствующих фотограмметрических измерений с использованием специального программного обеспечения. При этом исследуемый участок дороги разбивается на микроучастки с характерными видами повреждений.

По таблице 1 в зависимости от характера и степени повреждения определяется ожидаемый коэффициент прочности дорожной одежды K_{np} для каждого микроучастка.

Таблица 1

Ожидаемый коэффициент прочности дорожной одежды
по характеру и степени повреждений покрытия

№ п/п	Состояние покрытия и характер повреждения	Значение K_{np}
1.	Без дефектов и отдельные трещины на расстоянии более 40 м	1,0
2.	Отдельные трещины на расстоянии 20...40 м	0,98...1,0
3.	То же на расстоянии 10...20 м	0,95...0,98
4.	Редкие трещины на расстоянии 8...10 м	0,9...0,95
5.	То же 6...8 м	0,88...0,9
6.	То же 4...6 м	0,85...0,88
7.	Частные трещины на расстоянии 3...4 м	0,8...0,85
8.	То же 2...3 м	0,78...0,8
9.	То же 1...2 м	0,75...0,78
10.	Сетка трещин при относительной площади, занимаемой сеткой менее 30%	0,7...0,75
11.	То же от 60 до 30%	0,68...0,7
12.	То же 90...60%	0,65...0,68
13.	Искажение продольного микропрофиля и поперечного профиля (волны, колеиность)	0,68...0,7
14.	Посадки при их относительной площади до 20%	0,6...0,65
15.	То же от 50 до 20%	0,58...0,6
16.	То же более 50%	0,55...0,58
17.	Проломы дорожной одежды при относительной площади проломов менее 10%	0,6...0,65
18.	То же от 30 до 10%	0,58...0,6
19.	То же более 30%	0,5...0,58

При наличии на одном микро участке различных дефектов или разрушений, например, колеиности и поперечных трещин коэффициент

прочности назначают по дефекту, дающему наименьший коэффициент прочности.

По полученным значениям коэффициентов прочности вычисляют средневзвешенный коэффициент прочности $K_{np.cр.}$ по формуле:

$$K_{np.cр.} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{npi} l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (4)$$

где K_{npi} – значение коэффициента прочности на i -м микро участке;
 l_i – протяженность i -го микро участка, м;
 n – количество микро участков.

По распределению коэффициентов прочности на разрушенных или деформированных микроучастках можно судить о фактической степени деформированности поверхности, вычисляемой из выражений:

$$r = 0,5 - \Phi(x), \quad (5)$$

$$\Phi(x) = \Phi((K_{np.cр.} - 0,7) / G_{к.нр.}), \quad (6)$$

где $\Phi(x)$ – табулированная функция Лапласа, определяемая по справочным таблицам;

$G_{к.нр.}$ – среднеквадратическое отклонение коэффициента прочности, определяемое по формуле:

$$G_{к.нр.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{npi} - K_{np.cр.})^2}{n}}. \quad (7)$$

Подставив значение степени деформированности дорожной одежды r в формулу (1), определим коэффициент K_r , учитывающий состояние дорожного покрытия, наличие и характер повреждений. Расчеты частных коэффициентов, учитывающих другие характеристики автомобильной дороги проводятся по известным методикам [4, 5]. Итоговый коэффициент обеспечения расчетной скорости определяется по зависимости (3).

С целью сокращения затрат времени и автоматизации проведения расчетов была разработана программа для ЭВМ с использованием среды визуального программирования Delphi. На рис. 1 представлено главное окно программы, в котором вводятся протяженность обследуемого участка дороги и количество микроучастков с одинаковыми (схожими) повреждениями.

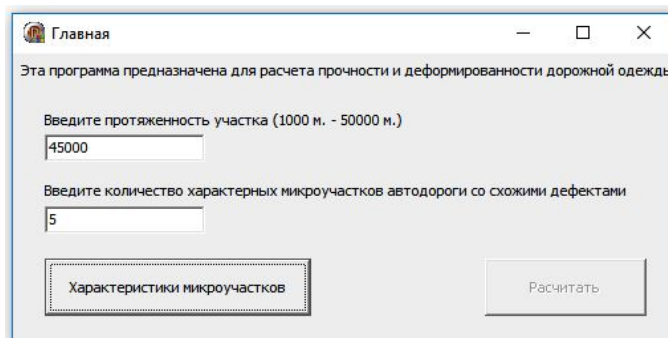


Рис. 1. Главное окно программы

В окне ввода характеристик микроучастков (рис. 2) указывается характер повреждений дорожного покрытия, присущий каждому микроучастку.

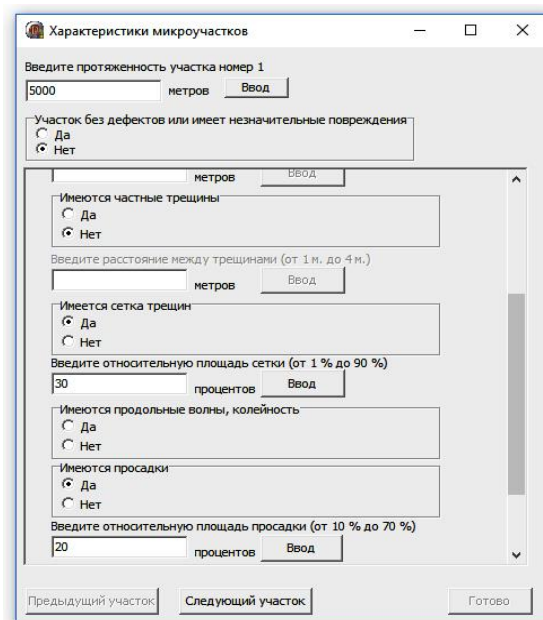


Рис. 2. Окно ввода характеристик микро участков.

Результаты расчетов выводятся на экран в итоговом окне программы (рис. 3).

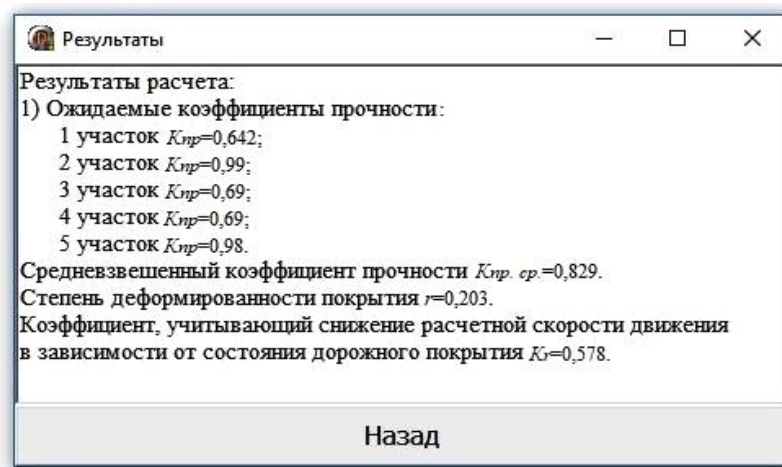


Рис. 3. Окно вывода результатов расчетов.

Таким образом, предложенный в данной статье метод может быть использован для приближенной экспресс-оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги, с учетом характера повреждений дорожного покрытия и других характеристик автомобильной дороги, данные о которых могут быть получены с использованием БПЛА.

Литература

1. Дорожное хозяйство // Сайт компании "Геоскан" URL: geoscan.aero/ru/application/road_inspection (дата обращения: 01.02.2018).
2. Наконечный В.Н., Серeda П.О., Лебедева И.В., Цаль А.Ю. К вопросу использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и диагностики автомобильных дорог // Международная научно-практическая конференция «Транспорт: наука, образование, производство. Т. 2. Технические науки». Ростов-на-Дону: РГУПС, 2017. С. 305-308.



3. Филиппов Д.В., Великжанина К.Ю., Грядунов Д.А. Состояние автомобильных дорог изучает БПЛА // Дороги. Инновации в строительстве. 2012. №20. С. 74-78.

4. Справочная энциклопедия дорожника. Т.2. Ремонт и содержание автомобильных дорог / Под ред. Васильева А.П. М.: Росавтодор, 2004. 1129 с.

5. Справочная энциклопедия дорожника. Т.1. Строительство и реконструкция автомобильных дорог / Под ред. Васильева А.П. М.: Росавтодор, 2005. 1519 с.

6. Цаль А.Ю., Ермошин Н.А., Серeda П.О. Совершенствование технических решений мониторинга автомобильных дорог и транспортных сооружений // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4710

7. Цаль А.Ю. Моделирование процесса диагностики автомобильных дорог // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4709

8. Lenngren, C.A., J. Bergstrum and B. Ersson, 2000. Using Ground Penetrating Radar for Assessing Highway Pavement Thickness. Subsurface Sensing Technologies and Applications II, Editor Cam Nguyen, Texas A&M Univ. San Diego, 4129: pp.144-149.

9. McQueen, J.M. and D.H. Timm, 2005. Statistical Analysis of Automated Versus Manual Pavement Condition Surveys. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004: pp.55-62.

10. Матуа В.П., Чирва Д.В., Матуа Р.В., Мирончук С.А., Сизонец С.В. Комплексный подход к решению проблемы колееобразования на федеральных автомобильных дорогах // Сборник научных трудов "Дорожный Конгресс". М.: МАДИ, 2010. С. 174-181.

References

1. Dorozhnoe khozyaystvo. Sayt kompanii "Geoskan" [Road construction. The Website of the company "Geoskan"]. URL: geoscan.aero/ru/application/road_inspection (accessed 01/02/12).
 2. Nakonechnyy V.N., Sereda P.O., Lebedeva I.V., Tsal' A.Yu. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo. T. 2. Tekhnicheskie nauki». Rostov-na-Donu: RGUPS, 2017. pp. 305-308.
 3. Filippov D.V., Velikzhanina K.Yu., Gryadunov D.A Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve. 2012. №20. pp. 74-78.
 4. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. T.2. Remont i sodержanie avtomobil'nykh dorog [Reference encyclopedia road. Vol.2. Repair and maintenance of roads]. Pod red. Vasil'eva A.P. M.: Rosavtodor, 2004. 1129 p.
 5. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. T.1. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya avtomobil'nykh dorog [Reference encyclopedia road. Vol.1. Construction and reconstruction of roads.] Pod red. Vasil'eva A.P. M.: Rosavtodor, 2005. 1519 p.
 6. Tsal' A.Yu, Ermoshin N.A., Sereda P.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4710
 7. Tsal' A.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4709
 8. Lenngren, C.A., J. Bergstrum and B. Ersson, 2000. Using Ground Penetrating Radar for Assessing Highway Pavement Thickness. Subsurface Sensing Technologies and Applications II, Editor Cam Nguyen, Texas A&M Univ. San Diego, 4129: pp.144-149.
 9. McQueen, J.M. and D.H. Timm, 2005. Statistical Analysis of Automated Versus Manual Pavement Condition Surveys. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004: pp.55-62.
-



10. Matua V.P., Chirva D.V., Matua R.V., Mironchuk S.A., Sizonets S.V. Sbornik nauchnykh trudov "Dorozhnyy Kongress" (Collection of scientific papers "road Congress"). Moscow, 2010, pp. 174-181.