

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-72-80

Дмитриева Т.Л., Черняго А.Б.Иркутский национальный исследовательский технический университет***E-mail: dmitrievat@list.ru*

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Аннотация. В статье рассмотрены методы управления информационной моделью автомобильной дороги на этапе эксплуатации. Показана комплексная методика проверки транспортно-эксплуатационных показателей, которая позволяет прогнозировать состояние дорожного покрытия, определять вероятность возникновения деформаций и разрушений во время эксплуатации дороги. Представлен программный модуль для оценки ремонтпригодности дороги с учётом всех ключевых транспортно-эксплуатационных показателей. На основе этого модуля можно рассчитать реальные межремонтные сроки службы для определённых участков дороги. В алгоритмах разработанной программы предусмотрена передача данных на различных этапах жизненного цикла, заложен этап создания среды общих данных, взаимодействие с атрибутами IFC. Такой подход обеспечивает interoperability информационной модели дороги, позволяет оценить, как текущее ее состояние, так и планируемые меры по устранению строительных недочётов или дефектов, образовавшихся в процессе эксплуатации, что обеспечивает продление срока службы дороги. Исследованы популярные реологические модели для прогнозирования остаточных деформаций дорожных одежд на основе анализа различных моделей упругопластического поведения грунта нелинейной механики грунтов. Выявлено, что наиболее адекватной является модель, использующая теорию наследственной ползучести, которая учитывает расчет нежестких дорожных одежд, подверженных воздействию кратковременной нагрузки от движущихся автомобилей. Приведены некоторые аспекты ремонтпригодности дорожного объекта, влияющие на экологические и экономические показатели окружающей среды.

Ключевые слова: ремонтпригодность, жизненный цикл, информационная модель дороги, математическая модель, среда общих данных.

Введение. Ремонтпригодность – важный фактор, влияющий на качество и надёжность объектов капитального строительства [1]. Это свойство объекта, которое позволяет легко и быстро устранить возникающие неисправности или заменить вышедшие из строя компоненты. В данной статье представлен разработанный авторами программный модуль автоматизированной оценки ремонтпригодности автомобильной дороги. Отмечена важность ремонтпригодности объекта для экологических и экономических показателей, которая состоит в возможности сокращения времени простоя данного объекта, что, в свою очередь, снижает затраты на его эксплуатацию [2].

Для оценки показателей ремонтпригодности автомобильной дороги и контроля состояния дороги без регулярного сезонного и ежегодного мониторинга предлагается использовать исполнительную документацию, акты приёмки после сдачи объекта в эксплуатацию, а также данные диагностики, полученные в конце межремонтного периода. Таким образом, можно получить представление о состоянии дороги и разработать стратегию управления им в будущем. Для этой цели был разработан алгоритм и соответствующая программа проверки эксплуатируемого дорожного объекта по ключевым его параметрам. Расчёты производятся на основе полученной

съёмки местности, проектных данных и данных полученных после этапа строительства автомобильной дороги. Результатом расчёта данного программного модуля является показатель фактического транспортно-эксплуатационного состояния данного сооружения. Проверка включает множество параметров, влияющих на безопасность и качество движения, в том числе состояние и прочность дорожной одежды. На основе разработанной программы, а также с использованием информационного и математического моделирования построен метод эффективного управления этапом эксплуатации объектов дорожного хозяйства.

Таким образом, научная сторона данного исследования состоит в разработке алгоритма прогнозирования транспортно-эксплуатационных (с учётом климатических характеристик) параметров автомобильной дороги, на основе которого определяется состояние конструкций конкретного участка. В данном алгоритме актуализация данных происходит геоинформационными системами (ГИС), а после завершения этапа эксплуатации предусматривается сопровождение последующих этапов: предпроектного и проектного на ремонт, капитальный ремонт или реконструкцию автомобильной дороги.

Материалы представленных исследований могут быть использованы компаниями дорожно-

строительной отрасли, применяющими или внедряющими у себя PLM-системы (Product Lifecycle Management).

Материалы и методы. Оценка показателей ремонтпригодности автомобильной дороги должна быть встроена в общую информационную модели дороги (ИМД) [4]. Это возможно, в том числе, при помощи ERP-систем с web-ориентированной средой общих данных (СОД) и использованием web-систем для хранения и управления информационными моделями.

Создание перспективной RIM-модели (Road Information Modelling) позволит эффективно управлять процессом строительства и эксплуатации дорог, обеспечивая соблюдение нормативных требований и автоматическую корректировку проектов на всех стадиях жизненного цикла [5, 6].

Приведём общую методику создания и управления информационной моделью автомобильной дороги на различных этапах ее жизненного цикла [7] (рис. 1) с одновременным созданием среды общих данных.

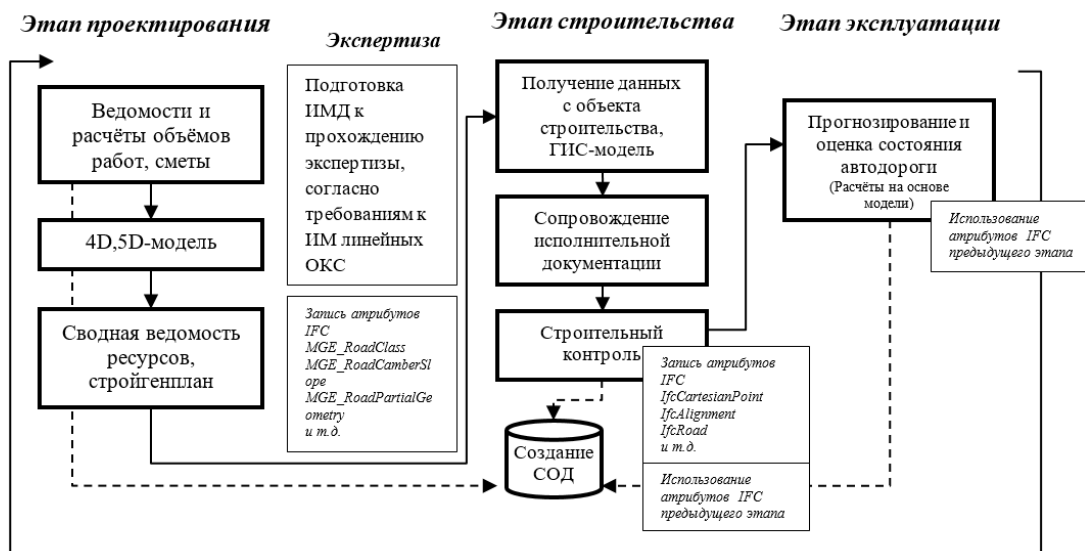


Рис. 1. Блок-схема разработанной методики создания информационной модели автомобильной дороги на различных этапах ее жизненного цикла

Для создания СОД была применена ERP-система (планирование ресурсов предприятия) Arrius-PLM, которая сопровождает информационную модель дороги на всех этапах жизненного цикла, что даёт возможность управлять персоналом и определять наиболее эффективные формы

организации труда [8]. Интеграция разработанной авторами программы в такую ERP-систему позволяет эффективно применять нормативные документы, а также создавать и хранить базы данных обследования, диагностики и паспортизации автомобильной дороги (рис.2).

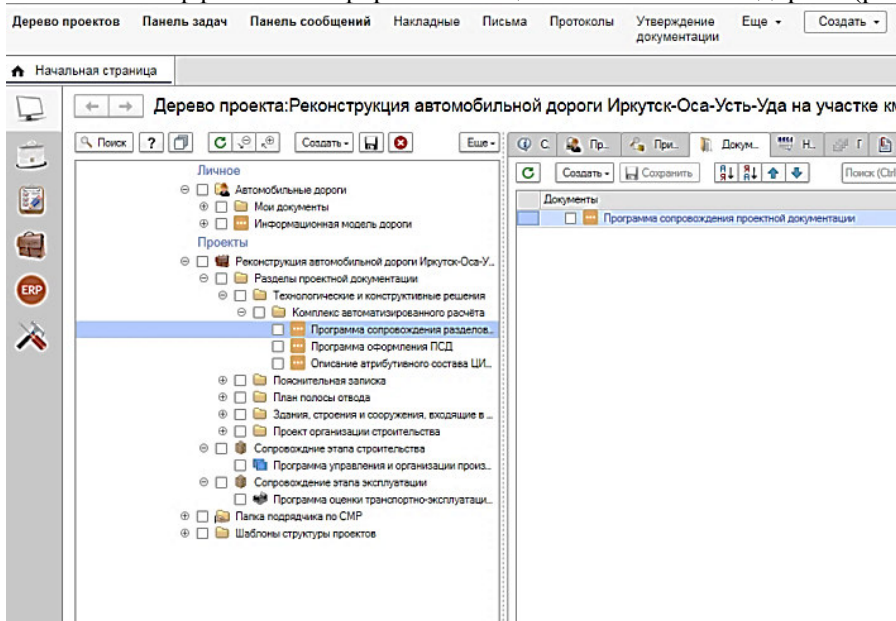


Рис. 2. Работа с программными модулями в СОД для сопровождения модели автомобильной дороги на различных этапах её жизненного цикла в программе Arrius-PLM

В алгоритмах разработанной программы заложено взаимодействие с атрибутами IFC. Такой подход обеспечивает интероперабельность ИМД, позволяя, например, соблюсти требования к цифровым информационным моделям линейных объектов капитального строительства, представляемым для проведения экспертизы [9]. Также задание атрибутов обеспечит эффективные операции по сбору, хранению, обработке, интеграции и передаче данных, их мониторинга, актуализации и анализа, валидации и верификации [10, 11].

Основная часть. Следует отметить, что прогнозирование эксплуатационных характеристик дороги на долгосрочную перспективу затруднено из-за отсутствия адекватных моделей, которые бы учитывали взаимодействие всех её конструктивных элементов [12]. Чтобы оценить показатели ремонтпригодности необходима исполнительная документация, акты ввода объекта в эксплуатацию, а также данные обследования дороги. Используя эти данные можно произвести расчёты, которые позволят спрогнозировать состояние объекта для назначения возможных мер по устранению недостатков, препятствующих дальнейшей эксплуатации объекта.

1. Расчет межремонтных сроков в процессе эксплуатации дороги.

Одним из важных показателей выхода из состояния нормальной эксплуатации дороги является появление остаточных деформаций в ее покрытии. На основе математического моделирования деформационно-прочностных характеристик дорожной одежды можно вычислить значение абсолютной деформации ее поверхности, после чего есть возможность рассчитать время достижения конструкцией критической величины этой деформации и, таким образом, выявить межремонтный срок службы данной дорожной одежды. Расчёт этих показателей в программе производится с помощью модуля деформационного расчета *RP_def* (*Road pavement deformations*). Алгоритм программы основан на модели дорожной одежды (рис. 3) и использует исходные и исполнительные данные (характеристики грунтов из инженерно-геологических отчётов) и параметры, полученные в ходе экспресс-диагностики (с использованием передвижной дорожной лаборатории). Расчёты учитывают динамические и статические воздействия от движущегося транспорта, механические свойства грунтов, природные факторы, результаты мониторинга, а также действующие нормы и правила.

Предварительно были проанализированы 3 популярные реологические модели упругопластического поведения грунта для прогнозирования остаточных деформаций дорожных одежд:

- 1) упругопластическая модель с изотропным упрочнением (HSM);
- 2) идеально-упругопластическая модель с критерием прочности Мора – Кулона;
- 3) модель, использующая теорию наследственной ползучести и соотношение Больцмана – Вольтерра, которая исследована в монографии Ерёмкина В.Г. и Волокитиной О.А. [13].

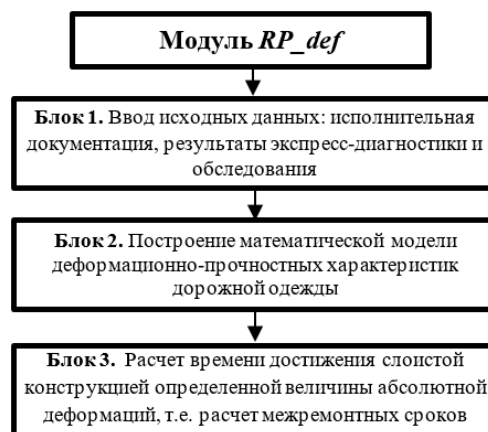


Рис. 3. Основные блоки модуля *RP_def*

Выявлено, что математическая модель Кулона-Мора и модель упрочняющегося грунта обладают главным недостатком – их непригодностью для моделирования динамических процессов, что не позволяет адекватно определить деформации конструктивных слоёв дорожной одежды и земляного полотна от воздействия автомобильной колесной нагрузки [14]. На основании этого была принята модель 3, которая учитывает критерий предельного состояния для расчета нежестких дорожных одежд, подверженных воздействию кратковременной нагрузки от движущихся автомобилей. Достоверность принятой модели была подтверждена экспериментально.

При расчёте по этой модели задействованы национальные стандарты, откуда берутся значения климатических параметров определённого региона и используются для автоматизации и универсализации модели состояния дорожного покрытия. Это позволяет учитывать местные материалы и расчётные характеристики для каждого субъекта страны.

2. Оценка состояния автомобильной дороги.

Для оценки текущего состояния автомобильной дороги разработан алгоритм проверки по ее ключевым параметрам согласно нормативному документу ОДН 218.0.006-2002. Расчёт производится на основе полученной съёмки местности, проектных данных и данных взятых после этапа строительства автомобильной дороги. Результатом расчёта является значение обобщённого показателя качества и состояния дороги, которое позволяет определить фактическое транспортно-

эксплуатационное состояние данного сооружения.

Обобщенный показатель качества автомобильной дороги P_D находится по выражению:

$$P_D = K_{PD} \cdot K_{об} \cdot K_3. \quad (1)$$

Сюда входят:

- комплексный показатель ТЭС АД (K_{PD}),
- показатель инженерного оснащения и обустройства ($K_{об}$),
- показатель уровня содержания в период эксплуатации (K_3).

Фактические значения величин $K_{об}$ могут изменяться в диапазоне от 0,85 до 1,0 в зависимости от полноты обустройства дороги. Значения параметра K_3 меняются от 0,5 до 1,1.

Комплексный показатель ТЭС АД K_{PD} определяется как сумма комплексных показателей ее участков K_{Pi} ($i=1,2 \dots n$)

$$K_{PD} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Pi} \cdot l_i}{L}. \quad (2)$$

здесь L – общая длина дороги, км; l_i – длина i -го участка, км; n – число участков.

Показатель K_{Pi} оценивается итоговым коэффициентом обеспеченности расчетной скорости $K_{rci}^{итог}$ на данном участке. Он принимается равным *наименьшему* значению из всех частных коэффициентов на участке i .

$$K_{Pi} = K_{rci}^{итог} = K_{rci}^{min}. \quad (3)$$

Перечень частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости $K_{rc(1-10)}$ согласно ОДН 218.0.006-2002 показан в таблице 1.

Таблица 1

Учет влияния частных коэффициентов K_{rc}

Частный коэффициент K_{rc}	Учет влияния
$K_{rc(1)}$	Ширины основной укрепленной поверхности
$K_{rc(2)}$	Ширины и состояния обочин
$K_{rc(3)}$	Интенсивности и состава движения
$K_{rc(4)}$	Продольного уклона и видимости поверхности дороги
$K_{rc(5)}$	Радиуса кривых в плане
$K_{rc(6)}$	Продольной ровности покрытия
$K_{rc(7)}$	Сцепных качеств покрытия
$K_{rc(8)}$	Состояния и прочности дорожной одежды
$K_{rc(9)}$	Поперечной ровности покрытия (колеи)
$K_{rc(10)}$	Безопасности движения

Нормативное состояние дороги означает, что её параметры и характеристики обеспечивают комплексный показатель ТЭС АД не ниже нормативного K_{PN} в течение всего осенне-весеннего периода, то есть выполняется условие:

$$K_{PD} \geq K_{PN}. \quad (4)$$

На основе представленной методики авторами разработан программный модуль проверки по ключевым параметрам дороги *Check_RC*

(*Checking road condition*) (рис. 4). Исходные данные (ширина проезжей части, количество полос движения, ширина разделительной полосы, ширина укрепленной поверхности дорожной одежды, ширина обочин, величины продольных уклонов, радиусы кривых в плане, расстояние видимости и т.д.) определялись актуальной съёмкой местности.

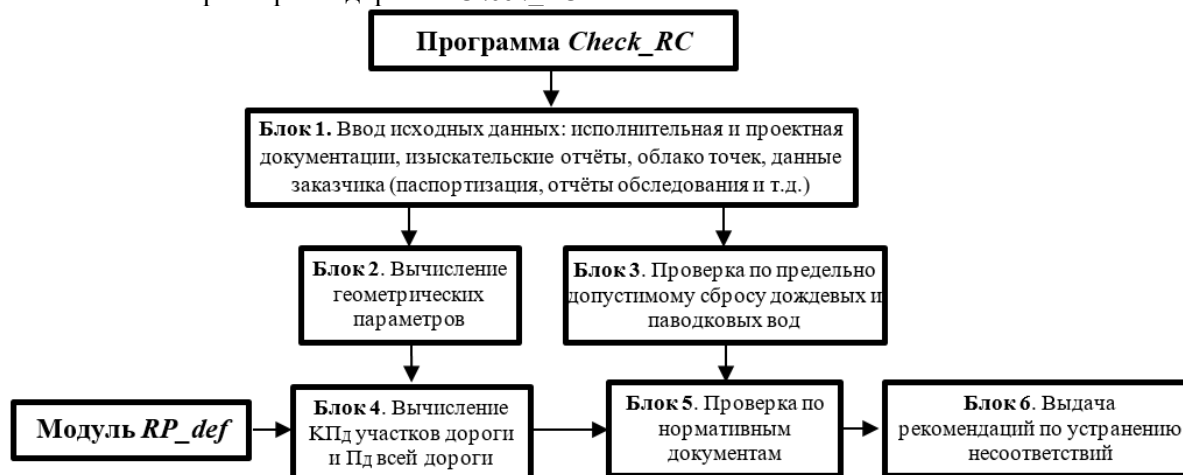


Рис. 4. Основные блоки программы *Check_RC*

По результатам расчётов на определённом периоде эксплуатации программой будут выделены участки дороги, не удовлетворяющие нормативным требованиям ($KPI < KPI_n$). После появления таких участков, будет доступна возможность получить рекомендации по устранению несоответствий. На основе внесения соответствующих исправлений, модель перестраивается, а отслеживание оценки состояния данного объекта продолжается. Например, если в процессе диагностики или обследования были обнаружены дефекты покрытия, то будут предложены варианты по устройству поверхностной обработки, ямочного ремонта и других работ по восстановлению изношенного слоя покрытия. Такие рекомендации позволят избежать расходов на более капитальные меры устранения дефектов, например, таких как полная замена покрытия дороги [15, 16]. Если причиной неудовлетворительного состояния конструкции стали источники переувлажнения земляного полотна и/или дорожной одежды, то по геометрической модели этого участка дороги будут определены места застоя воды, и далее, для последующего этапа проектирования будут назначены рекомендации по составлению проектов продольных, поперечных уклонов проезжей части и кюветов.

Если общий объём восстановленных и неудовлетворительных участков дороги превышают нормативные требования, программой будет назначен капитальный ремонт.

3. Проверка по предельно допустимому сбросу дождевых и паводковых вод.

Программа *Check_RC* выполняет также проверку по предельно допустимому сбросу дождевых и паводковых вод согласно СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» и «Рекомендациям по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов» (Блок 3).

В качестве исходных данных принимаются климатические параметры, площадь участка автодороги и средний продольный уклон участка дороги. Оценка загрязнения поверхностного стока (сброса) с автомобильной дороги и определение необходимости её очистки производится расчетом на основе фактической концентрации загрязняющего вещества в поверхностном стоке, расчетного расхода поверхностных сточных вод (дождевых или паводковых), и предельно допустимого содержания (концентрации) загрязняющего вещества в поверхностном стоке с учетом смешения его с водами водотока.

4. Описание интерфейса программы.

На рис. 5 представлен интерфейс реализации программы *Check_RC*. В окно ввода (рис. 5, а) необходимо ввести информацию об автомобильной дороге. Большинство данных определяется на этапе проектирования. На основе этой информации создаётся графическое представление состояния участка дороги (рис. 5, б) и список рекомендаций по устранению различных эксплуатационных проблем. Это позволяет предпринимать действия, соответствующие нормативным документам и методическим рекомендациям, учитывая текущее состояние дороги.

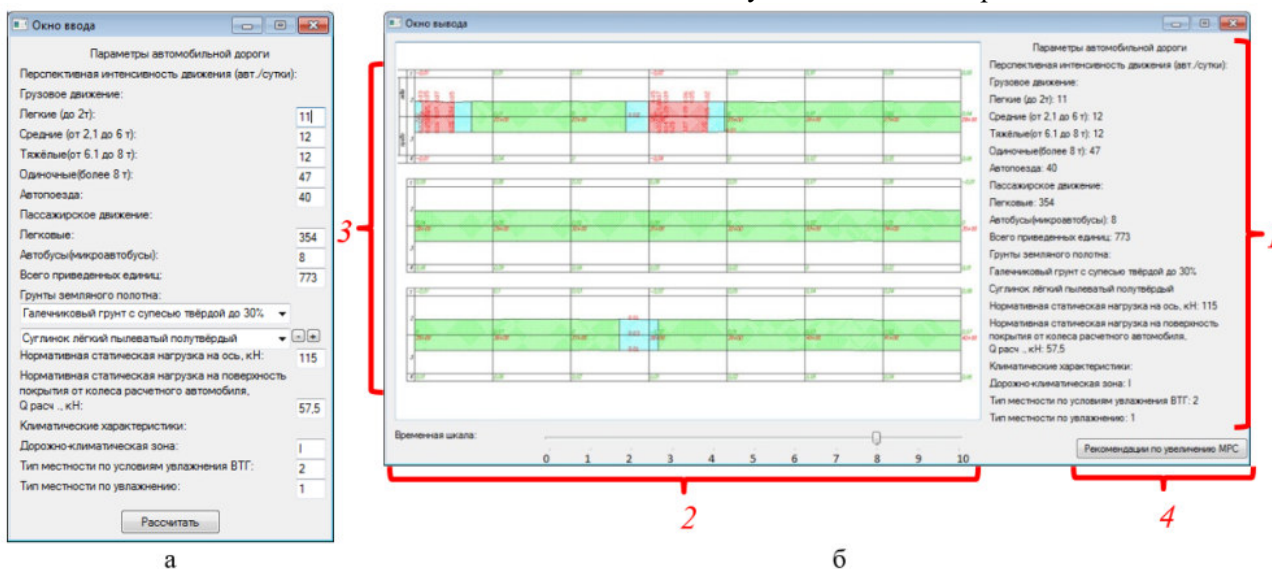


Рис. 5. а) Окно ввода известных параметров автомобильной дороги.

б) Окно вывода состояния автомобильной дороги с отображением проблемных участков

На рис. 5, б представлены:

Зона 1 включает входные параметры автомобильной дороги, которые непосредственно влияют на создание её математической модели.

Зона 2 представляет собой временную шкалу, позволяющую оценить состояние дороги в течение определённого времени после начала

эксплуатации (на основе данных из модуля RP_def).

Зона 3 содержит спрямлённый план участка дороги, полученный в результате расчётов модели и показывающий проблемные зоны, не соответствующие нормативным требованиям.

Зона 4 кнопка для получения рекомендаций по продлению межремонтного периода. После активации проблемные участки будут выделены красным цветом, и станет возможным получение рекомендаций по устранению проблем. Участки, которые были восстановлены по рекомендациям, предложенным данной программой выделяются синим цветом.

На основе внесения соответствующих исправлений (по выданным рекомендациям), модель перестраивается, а отслеживание оценки состояния данного объекта продолжается.

Выводы. Программный модуль Check_RC оценивает показатели ремонтпригодности автомобильной дороги, определяет её состояние и качество, а также рассчитывает реальные межремонтные сроки службы участка дороги. Результаты анализа позволяют выявить недостатки и предложить способы их устранения, что помогает предотвратить ошибки и дефекты в период эксплуатации дороги, обеспечивая тем самым увеличение срока службы дороги.

Предложенный подход существенно эффективнее ситуации, существующей сегодня, когда производится множество расчетов, лишь в целом отображающих пригодность дороги для дальнейшей ее эксплуатации. Следует отметить, что использование ремонтпригодных продуктов способствует снижению загрязнения окружающей среды. Это связано с тем, что при ремонте используются уже существующие компоненты без их утилизации и замены новыми. Разработанная методика, когда своевременно назначенными мероприятиями можно фактически отсрочить капитальный ремонт, позволит сократить потребление энергии и ресурсов, необходимых для производства новых материалов и компонентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Порфирьев Б.Н., Скубачевская Н.Д., Миллякин С.Р. Оценка эффективности затрат на модернизацию автомобильных дорог в России в целях их адаптации к климатическим изменениям и снижения риска ДТП // Проблемы прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 103–118. DOI: 10.47711/0868-6351-201-103-118.

2. Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д. Качество, эксплуатационные свойства и экологическая безопасность автомобильной дороги в контексте устойчивого экономического развития //

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 179–197. DOI:10.31675/1607-1859-2023-25-4-179-197.

3. Горячев М.Г., Лугов С.В., Калёнова Е.В. Анализ некоторых параметров зависимости для определения требуемой прочности нежестких дорожных одежд при обосновании конструктивного решения по их усилению // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2020. № 2 (24). С. 415–419.

4. Жук А.Ю., Саблин С.Ю., Скрыпников А.В., Болтнев Д.Е., Высоцкая И.А. Исследование математической модели рельефа местности при проектировании автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 88–93. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-88-93.

5. Рябова О.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Тихомиров П.В. Изучение географической среды для целей дорожного проектирования // Научный журнал строительства и архитектуры. 2020. № 1 (57). С. 84–95. DOI: 10.25987/VSTU.2020.57.1.008.

6. Дмитриева Т.Л., Яценко В.П., Курышов И.А. BIM как средство сквозного проектирования, технологии возведения и эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 252–261. DOI: 10.21285/2227-2917-2023-2-252-261.

7. Дмитриева Т.Л., Черняго А.Б. Взаимодействие цифровой модели и пространственных данных на всех этапах жизненного цикла в информационном моделировании дорожной отрасли // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее. Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института. Красноярск, 2022. С. 314–319.

8. Eleftheriadisa S., Mumovica D., Greeningb P. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. No. 67. Pp. 811–825.

9. Документация по использованию классов IFC [Электронный ресурс]. URL: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML дата обращения: 20.04.2024).

10. Ho S., Rajabifard A. Towards 3D-enabled urban land administration: Strategic lessons from the BIM initiative in Singapore // Land Use Policy. 2016. No. 57. Pp. 1–10.

11. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта

// Информационные ресурсы России. 2016. № 5(153). С. 28–31.

12. Дубровский А.В., Ершов А.В., Новоселов Ю.А., Москвин В.Н. Элементы геоинформационного обеспечения инвентаризационных работ // Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22. № 4. С. 78–91.

13. Ерёмин В.Г., Волокитина О.А. Метод определения расчетных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд. Воронеж: ВГАСУ, 2010. С. 228–233.

14. Черняго А.Б., Дмитриева Т.Л. Применение популярных математических моделей упругопластического поведения грунта для прогнозирования остаточных деформаций дорожных

одежд в практике геотехнического моделирования // Конференция «Взаимодействие науки, образования и производства» – Октябрь, 2019, Иркутск – Изд-во: Иркутский национальный исследовательский технический университет. С. 54–62.

15. Фонтокина В.А., Савенко А.А., Самарский Е.Д. Роль BIM-технологий в организации и технологии строительства // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 1 С. 56–64.

16. Ilhan B., Yaman H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. Automation in Construction. 2016. No. 70. Pp. 26–37.

Информация об авторах

Дмитриева Татьяна Львовна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики и сопротивления материалов ИРНИТУ. E-mail: dmitrievat@list.ru. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Черняго Андрей Борисович, аспирант кафедры механики и сопротивления материалов ИРНИТУ. E-mail: abs706080@gmail.com. Иркутский национальный исследовательский технический университет. Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Поступила 04.06.2024 г.

© Дмитриева Т.Л., Черняго А.Б., 2024

***Dmitrieva T.L., Chernyago A.B.**

Irkutsk National Research Technical University

**E-mail: dmitrievat@list.ru*

THE ASSESSMENT OF HIGHWAY MAINTAINABILITY INDICATORS

Abstract. *The methods of managing the information model of the road at the operation stage are presented. A comprehensive methodology for checking transport and operational indicators is shown. It allows to predict the condition of the road surface, to determine the probability of deformations and destruction during the operation of the road. A software module is presented for assessing the maintainability of the road, taking into account all key transport and operational indicators. Based on this module, one can calculate the real overhaul service life for certain sections of the road. In the algorithms of the developed program, data transmission at various stages of the life cycle is provided, the stage of creating a general data environment, interaction with the IFC attributes is laid. This approach ensures the interoperability of the information model of the road and allows to evaluate current condition and planned measures to eliminate construction flaws or defects formed during operation, which ensures the extension of the road service life. Popular rheological models have been investigated for predicting residual deformations of road clothing based on the analysis of various models of the soil behavior of nonlinear soil mechanics. It is revealed that the most adequate model is a model that uses the theory of hereditary creep, which takes into account the calculation of non-rigid road clothing, which is exposed to short-term load from moving cars. Some aspects of the maintainability of the road facility affecting the environmental and economic indicators of the environment are given.*

Keywords: *maintainability, life cycle, information model of the road, mathematical model, general data.*

REFERENCES

1. Porfirev B.N., Skubachevskaya N.D., Milya-kin S.R. Cost-effectiveness assessment for the roads upgrading to adapt to climate change and reduce the risk of traffic accidents in Russia [Oценка effektivnosti zatrat na modernizaciyu avtomobil'nyh dorog v Rossii v celyah ih adaptacii k klimaticheskim

izmeneniyam i snizheniya riska DTP]. Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 6. Pp. 794–804. DOI: 10.1134/S1075700723060114. (rus)

2. Lukashovich V.N., Lukashovich O.D. Quality, operating properties and environmental safety of automobile road in sustainable economic development [Kachestvo, ekspluatatsionnye svoystva i

ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'noj dorogi v kontekste ustojchivogo ekonomicheskogo razvitiya]. Journal of Construction and Architecture. 2023. No. 25 (5). Pp. 179–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-179-197. (rus)

3. Goryachev M.G., Lugov S.V., Kalyonova E.V. Analysis of some dependence parameters for determining the required strength of flexible pavements when justifying the constructive decision to strengthening them [Analiz nekotorykh parametrov zavisimosti dlya opredeleniya trebuemoj prochnosti nezhyostkih dorozhnyh odezhd pri obosnovanii konstruktivnogo resheniya po ih usileniyu. Avtomobil']. Car. Road. Infrastructure. 2020. No. 2 (24). Pp. 415–419. (rus)

4. Zhuk A.Yu., Sablin S.Yu., Skrypnikov A.V., Boltnev D.E., Vysockaya I.A. Investigation of the mathematical model of the terrain in the design of highways [Issledovanie matematicheskoy modeli rel'efa mestnosti pri proektirovanii avtomobil'nyh dorog]. Systems Methods Technologies 2021. No. 2 (50). Pp. 88–93. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-88-93. (rus)

5. Ryabova O.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tihomirov P.V. Studying a Geographical Environment for Road Design Purposes [Izuchenie geograficheskoy sredy dlya celej dorozhnogo proektirovaniya]. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. No. 1 (57). Pp. 84–95. DOI: 10.25987/VSTU.2020.57.1.008. (rus)

6. Dmitrieva T.L., Yashchenko V.P., Kuryshov I.A. BIM as a means of end-to-end design, construction, and operation. [BIM kak sredstvo skvoznoho proektirovaniya, tekhnologii vozvedeniya i eksploatacii]. Izvestiya vuzov Investitsii Stroitelstvo Nedvizhimost. 2023. Vol. 13. No. 2. Pp. 252–261. DOI: 10.21285/2227-2917-2023-2-252-261. (rus)

7. Dmitrieva T.L., Chernyago A.B. The interaction of the digital model and spatial data at all stages of the life cycle in the information modeling of the road industry [Vzaimodejstvie cifrovoj modeli i prostranstvennykh dannykh na vseh etapah zhiznennogo cikla v informacionnom modelirovanii dorozhnoj otrasli. Aktual'nye voprosy stroitel'stva: vzglyad v budushchee]. Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and Practical conference dedicated to the 40th anniversary of the establishment of the Institute of Civil Engineering. Krasnoyarsk. 2022. Pp. 314–319. (rus)

8. Eleftheriadisa S., Mumovica D., Greeningb P. Life cycle energy efficiency in building structures:

A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. No. 67. Pp. 811–825.

9. Documentation on the use of IFC classes [Dokumentaciya po ispol'zovaniyu klassov IFC]. URL: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML (date of treatment: 20.04.2024). (rus)

10. Ho S., Rajabifard A. Towards 3D-enabled urban land administration: Strategic lessons from the BIM initiative in Singapore. Land Use Policy. 2016. No. 57. Pp. 1–10.

11. Ginzburg A.V. BIM technologies throughout the life cycle of a construction site [BIM-tekhnologii na protyazhenii zhiznennogo cikla stroitel'nogo ob"ekta]. Information resources of Russia. 2016. No. 5(153). Pp. 28–31. (rus)

12. Dubrovskij A.V., Ershov A.V., Novoselov Yu.A., Moskvina V.N. Elements of geoinformation support for inventory works [Elementy geoinformacionnogo obespecheniya inventarizacionnykh rabot]. Vestnik SGUGiT. 2017. Vol. 22. No. 4. Pp. 78–91. (rus)

13. Eryomin V.G., Volokitina O.A. Method of definition of estimated performances of constructive layers of non-rigid road clothes [Metod opredeleniya raschetnykh karakteristik konstruktivnykh sloev nezhestkiy dorozhnyh odezhd]. Voronezh: VGASU, 2010. Pp. 228–233. (rus)

14. Chernyago A.B., Dmitrieva T.L. Application of popular mathematical models of elastic-plastic behavior of soil to predict residual deformations of road surfaces in the practice of geotechnical modeling [Primenenie populyarnykh matematicheskikh modelej uprugoplasticheskogo povedeniya grunta dlya prognozirovaniya ostatocnykh deformacij dorozhnyh odezhd v praktike geotekhnicheskogo modelirovaniya]. The conference "Interaction of science, education and production". 2019. Pp. 54–62. (rus)

15. Fontokina V.A., Savenko A.A., Samarskij E.D. The role of BIM technologies in the construction economy [Rol' BIM-tekhnologij v organizacii i tekhnologii stroitel'stva]. The Eurasian Scientific Journal. 2022. No. 14(1). Pp. 56–64. (rus)

16. Ilhan B., Yaman H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. Automation in Construction. 2016. No. 70. Pp. 26–37.

Information about the authors

Dmitrieva, Tatiana L. DSc, Head of Department of Mechanics and Strength of Materials. E-mail: dmitrievat@list.ru. Irkutsk National Research Technical University, Lermontov street, 83, Russia, Irkutsk, 664074.

Chernyago, Andrey B. Graduate student. E-mail: abs706080@gmail.com. Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Russia, Irkutsk 664074.

Received 04.06.2024

Для цитирования:

Дмитриева Т.Л., Черняго А.Б. Оценка показателей ремонтпригодности автомобильной дороги // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №9. С. 72–80. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-72-80

For citation:

Dmitrieva T.L., Chernyago A.B. The assessment of highway maintainability indicators. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 9 Pp. 72–80. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-72-80