

АДАПТИВНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ РИСКОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ I КАТЕГОРИИ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТИЯ

Бурова М. Г., магистрант

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Богданович С. В.

Аннотация. В работе представлена адаптивная методика оценки рисков для дорог I категории, интегрирующая динамические показатели ровности и сцепления покрытия. Подход повышает точность прогнозирования аварийности за счет учета влияния текущего эксплуатационного состояния полотна на безопасность движения.

Обеспечение безопасности на автомобильных дорогах I категории в Республике Беларусь, многие участки которых имеют высокую интенсивность движения и повышенный до 120 км/ч, скоростной режим, требует пересмотра ряда подходов к оценке состояния дорожного покрытия. Международный индекс ровности (IRI), может быть недостаточно информативным в условиях изменчивости климата и специфических эксплуатационных нагрузок [1, 2]. Статические нормативы IRI не способны в полной мере отразить динамический характер инфраструктурных рисков, которые изменяются под воздействием сезонных климатических факторов и комплексного износа покрытия. Нами предлагается адаптивная методика оценки рисков, основанная на динамическом подходе, который интегрирует сезонную изменчивость состояния покрытия, основные эксплуатационные параметры и дифференцированные требования к скоростным режимам.

Климат Республики Беларусь отличается значительными сезонными перепадами температур (от -20 °С зимой до $+35$ °С летом), большим количеством циклов замораживания–оттаивания (50–70 и более за зиму) и высокой влажностью и оказывает нелинейное воздействие на состояние дорожного покрытия [3]. Весной происходит резкое увеличение IRI вследствие морозного разрушения. Летом высокие температуры могут приводить к пластическим деформациям, а зимой снег и лед маскируют реальную ровность.

Более того, на высоких скоростях (120 км/ч) влияние неровностей на безопасность движения нелинейно возрастает. Время реакции водителя ($\sim 0,5$ –1 сек) трансформируется в значительный тормозной путь (~ 17 –33 м), а вертикальные ускорения, испытываемые автомобилем, в 2–3 раза превышают аналогичные показатели при скорости 90 км/ч. Это обуславливает необходимость введения более жестких требований к состоянию покрытия на дорогах I категории. Использование усредненных, статичных нормативов IRI в таких условиях приводит к недооценке реальных рисков.

Для преодоления ограничений существующих подходов предлагается трехуровневая адаптивная методика оценки инфраструктурных рисков.

1. Сезонная дифференциация пороговых значений IRI. Первым шагом является отказ от единого норматива IRI и введение сезонных пороговых значений. На основе анализа влияния климатических факторов предлагается установить различные допустимые и критические значения IRI для летнего, весеннего (после оттепели), осеннего (период дождей) и зимнего периодов. Такой подход позволяет адекватно реагировать на временное, но критическое ухудшение ровности, например, после зимы, и планировать ремонтные работы более эффективно.

2. Внедрение комплексного Индекса безопасности покрытия (ИБП). Ровность является лишь одним из факторов безопасности. Одинаковое значение IRI (например, 3,5 м/км) может соответствовать как относительно безопасному покрытию из щебеночно-

мастичного асфальтобетона (ЩМА) с высоким коэффициентом сцепления (0,50–0,55), так и опасному изношенному плотному асфальтобетону с низким сцеплением (0,35–0,40), особенно на мокрой дороге [4]. В связи с этим предлагается ввести комплексный показатель – Индекс безопасности покрытия (ИБП), рассчитываемый по формуле:

$$\text{ИБП} = \text{IRI} * K_{\text{сц}} * K_{\text{колея}} \quad (1)$$

где IRI – международный индекс ровности;

$K_{\text{сц}}$ – нормализованный и инвертированный коэффициент сцепления (чем ниже сцепление, тем выше коэффициент, усиливающий итоговый риск);

$K_{\text{колея}}$ – коэффициент колеяности (отношение фактической глубины колеи к допустимой).

Данный интегральный показатель позволяет получить объективную оценку риска, учитывая взаимосвязанное влияние ключевых дефектов покрытия.

3. Дифференциация требований по скоростным режимам. Учитывая нелинейное возрастание рисков с увеличением скорости, методика предполагает установление более строгих пороговых значений ИБП для участков дорог I категории с разрешенной скоростью 120 км/ч по сравнению с участками, где скорость ограничена 90–100 км/ч. Это позволит целенаправленно применять ресурсы для поддержания идеального состояния покрытия именно там, где последствия от его дефектов наиболее серьезны.

Таким образом осуществляется переход от статической оценки состояния дорог к адаптивной, динамической модели управления инфраструктурными рисками. Предлагается методика, комплексно учитывающая климатическую цикличность, синергетический эффект различных видов деградации покрытия и специфику скоростных режимов на дорогах I категории в условиях Республики Беларусь.

Практическое внедрение данной методики позволит дорожным службам точнее идентифицировать и ранжировать участки дорог с высоким уровнем риска; оптимизировать планирование и распределение ресурсов на содержание и ремонт; повысить общую безопасность дорожного движения за счет устранения неочевидных, но критических дефектов.

Предложенная методика закладывает основу для разработки интеллектуальных систем мониторинга и управления рисками. Дальнейшие исследования будут направлены на валидацию предложенной модели и установление количественной корреляции между Индексом безопасности покрытия и статистикой дорожно-транспортных происшествий на дорогах Республики Беларусь, что позволит откалибровать пороговые значения и повысить точность прогнозирования аварийности.

Список использованных источников

1. Исследование показателей ровности дорожного покрытия (IRI) на автомобильных дорогах общего пользования / А. Х. Уроков, Р. Р. Соаталиев // Молодой ученый. – 2023. – № 21 (468). – С. 111–115. – URL: <https://moluch.ru/archive/468/103232> (дата обращения: 19.11.2025).

2. Оценка ровности дорожного покрытия на основании проектного решения / И. И. Леонович, И. В. Нестерович // Наука и техника. – 2003. – № 1. – С. 8–13. – URL: <https://sat.bntu.by/jour/article/viewFile/1567/1466> (дата обращения: 19.11.2025).

3. Методология оценки воздействия изменения климата, уязвимости и климатических рисков в транспортной системе в Республике Беларусь / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль. – Мн. : БНТУ, 2022. – 256 с.