

УДК 658.7

Особенности определения сроков и очередности проведения капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог

И.М. ЦАРЕНКОВА

Представлен анализ существующих методов назначения ремонтных мероприятий, на основе оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог с использованием базы данных их эксплуатационных и технических параметров. В качестве ограничения выступает объем финансирования, что определяет выбор технологии проведения ремонта и возможность включения объекта в программу работ. Приводится разработанная методика поиска оптимума при двух независимых элементах по срокам проведения и очередности выполнения капитального ремонта автомобильной дороги и ее реконструкции.

Ключевые слова: автомобильная дорога, капитальный ремонт, реконструкция, эффективность.

The analysis of existing methods destination repair activities on the basis of the evaluation of transport and operational condition of roads, using a database of their operational and technical parameters is given. The amount of funding acts as limitation. This determines the choice of technology of repair and the inclusion of the object in the work program. The developed method for global optimization in two independent elements on the timing and prioritization of major repairs of the road and its reconstruction is given.

Keywords: automobile road, major repairs, reconstruction, efficiency.

Введение. В Беларуси для республиканских автомобильных дорог используется система управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог «Ремонт» [1, с. 316]. Данная система позволяет выполнять оценку транспортно-эксплуатационного состояния дорог и рассчитывать потребность в средствах на их приведение в соответствие с нормативными требованиями. Для этого постоянно пополняется база данных эксплуатационных и технических параметров автомобильных дорог. Расчеты выполняются как из условия необходимого объема финансирования, так и при ограничении поступления инвестиций. По сформированным перечням назначают вид требуемого ремонта или мероприятий по содержанию, проведение которых обеспечивает соответствие дороги нормативным требованиям.

В условиях ограниченного финансирования продолжаются исследования, направленные на совершенствование системы назначения ремонтных мероприятий автомобильных дорог. В большинстве из них осуществляется поиск критерия, определяющего возможность и схему проведения ремонтных работ и выбор на его основании участков, назначаемых в ремонт. При этом в первую очередь капитальный ремонт назначается на тех участках, где повреждения наиболее существенны. На остальных объектах с выработанными межремонтными сроками в качестве поддерживающей стратегии планируется текущий ремонт.

Согласно ДМД 02191.5.002-2006 [2, с. 2] в условиях недостаточной обеспеченности финансированием дорожных работ при проведении ремонтов, обеспечить доведение всех параметров одновременно всех дорог до нормативных требований невозможно. На участках дорог, где не предусмотрено доведение параметров до нормативных требований, предусматриваются ремонты, обеспечивающие удовлетворительное состояние дорог. В ДМД определены участки дорог, рекомендуемые к выполнению на них ремонтов в первую очередь: с коэффициентом прочности конструкции дорожной одежды менее допустимого значения; при наличии дефектности покрытия, соответствующей определенному уровню; при превышении предельно допустимого значения международного индекса ровности (IRI); при недостаточной величине коэффициента сцепления и значительной колейности покрытия. При долгосрочном планировании критерием разработки планов на сетевом уровне является расчетный межремонтный срок службы жестких конструкций дорожных одежд (T), который рассчитывается по зависимостям:

$$- \text{ для усовершенствованных типов } T = 1,4 \cdot \ln(N) + 2,5 ; \quad (1)$$

$$- \text{ для переходных и низших типов } T = 1,2 \cdot \ln(N) + 0,6 , \quad (2)$$

где N – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сутки.

Однако этот показатель не является основным при принятии решения о проведении очередного капитального ремонта. Определяющим критерием для выбора вида ремонта служит предельно допускаемое значение покрытия по международному индексу ровности IRI. Ремонтные мероприятия назначаются с таким условием, чтобы после их проведения, значение ровности, не превышало рекомендуемых значений. Капитальный ремонт рекомендуется проводить, если выполнение текущего ремонта не обеспечит требуемого состояния по ровности. В условиях ограниченного финансирования назначенные ремонты ранжируются по величине эффективности. Эффективность вложения средств для выполнения ремонтных мероприятий определяется по отношению величины снижения транспортных издержек после проведения ремонта к стоимости ремонта. Перечень участков дорог, рекомендуемых к ремонту, формируется из ранжированного ряда в пределах выделенных денежных средств.

В работе [3, с. 13] разработан интегральный показатель, значение которого характеризует момент наступления этапов проведения текущих, капитальных ремонтов или переустройства слоев основания. В качестве критерия разработан коэффициент надежности дорожной одежды, позволяющий принимать решение о выборе участков автомобильных дорог, требующих проведения первоочередных ремонтных мероприятий, а также в случае ограниченного финансирования, обоснованной замене капитального ремонта текущим ремонтом.

Наиболее мощным, но и более капиталоемким механизмом значительного улучшения транспортно-эксплуатационного состояния дорог и повышения их качества является реконструкция. Она направлена на увеличение пропускной способности, повышение скорости движения автомобиля, увеличение несущей способности покрытия с последующим переводом дороги в более высокую категорию, обеспечение безопасности движения и повышение транспортных качеств дороги. При реконструкции дороги или отдельных ее участков предусматривается улучшение плана и продольного профиля, устройство пересечений в разных уровнях с железными и автомобильными дорогами, строительство обходов населенных пунктов, уширение земляного полотна и проезжей части, усиление дорожной одежды, устройство краевых полос, усиление земляного полотна для повышения его устойчивости, переустройство искусственных сооружений в соответствии с новыми габаритами и нагрузками [4, с. 3].

В программе «Дороги Беларуси на 2006–2015 гг.» взят курс на дальнейшее развитие и ремонт автомобильных дорог на всех направлениях движения [5]. Намечено выполнить реконструкцию 79 км и капитальный ремонт на 1 332 км автомобильных дорог. В 2009 г. в связи с пересмотром программы Департаментом «Белавтодор» совместно с Министерством финансов и Министерством транспорта скорректированы основные объекты вложения инвестиций, среди них реконструкция автомобильных дорог М5 «Минск-Гомель» (протяженность в границах работ 74 км) и М4 «Минск-Могилев» (протяженность объекта 97 км). Кроме того, около 75 % автомобильных дорог имеют просроченные межремонтные сроки. Физические объемы капитального ремонта дорог в республике ниже нормативной потребности в 5,6 раза.

В связи с вышесказанным, особую важность приобретают исследования, направленные на рациональное использование ограниченных финансовых ресурсов при планировании дорожных работ. Требуется решения задача совместного поиска оптимальных сроков проведения капитального ремонта и реконструкции автомобильной дороги, обеспечивающих снижение транспортно-эксплуатационных затрат пользователей и капитальных вложений в проведение дорожно-строительных работ.

Основная часть. Представляется целесообразным определить оптимальную стратегию срока проведения капитального ремонта автомобильной дороги t_1 с одновременным определением оптимального срока реконструкции дороги t_2 .

Для отыскания оптимума при двух (как в данном случае) и более независимых переменных, т. е. при многомерном поиске, в настоящее время разрабатываются различные методы, которые основываются или на алгебраической, или на геометрической интерпретации решаемых задач.

В первом случае зависимая переменная (критерий) с помощью алгебраических уравнений выражается в виде функции независимых переменных. При таком подходе отыскание оптимума сводится к анализу функции и решению системы уравнений. В зависимости от характера функции решение системы таких уравнений осуществляется методами классической математики (решением дифференциальных уравнений в частных производных), а также методами линейного и динамического программирования.

При геометрической интерпретации и двух независимых переменных зависимая переменная (критерий) представляет собой точку в трехмерном пространстве. Совокупность всех точек зависимой переменной образует поверхность.

Число независимых переменных может быть и больше двух. В этом случае возникает многомерное пространство. Если критерий (зависимая переменная) находится в функциональной зависимости от n независимых переменных, то поиск осуществляется в $(n+1)$ -мерном пространстве и результаты экспериментов располагаются на n -мерной гиперповерхности отклика.

При такой интерпретации поиск оптимального решения сводится к анализу характера гиперповерхности отклика для выявления:

- унимодальности функции при заданной области изменения независимых переменных;
- рациональной последовательности выполнения экспериментов, обеспечивающей быстрое продвижение к наиболее высокой (при нахождении максимума критерия) или к наиболее низкой (при отыскании минимума) точке этой поверхности;
- координаты (величины независимых переменных), соответствующие этим точкам.

В качестве критерия оптимальности принимается минимальная величина суммарных затрат, связанных с реализацией стратегии S (учитываются затраты, связанные с реализацией проекта, за все годы эксплуатации дороги (суммарные по времени) и по всем направлениям расходования средств (суммарные по составу)), так как именно они оказывают наибольшее влияние на величину эффектов, получаемых в результате реализации разработанной стратегии

$$S = \sum_{t=0}^T K_t \eta_t + \sum_{t=0}^T Z_t \eta_t + \sum_{t=0}^T L_t \eta_t, \quad (3)$$

где K_t – капитальные вложения в основные фонды, руб.;

η_t – коэффициент дисконтирования затрат t -го шага к исходному (в качестве исходного принимается год эксплуатации дороги в существующем состоянии);

t – текущий расчетный шаг (принимается равным 1 году);

T – расчетный период эксплуатации дороги, лет;

Z_t – текущие затраты на t -м шаге расчета, руб.;

L_t – транзакционные издержки, связанные с реализацией стратегии, руб.

В состав текущих затрат входят: транспортно-эксплуатационные, включая расходы на эксплуатацию и ремонт, транспортные затраты, включающие расходы на осуществление перевозок грузов и пассажиров по данному участку дороги; внетранспортные затраты, включающие народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени нахождения пассажиров в пути следования, изъятием под дорогу продуктивных земель, дорожно-транспортными происшествиями; потери нетранспортных отраслей народного хозяйства, возникающие в условиях работы на неблагоустроенной дорожной сети.

Общая сумма транспортных затрат, связанных с осуществлением перевозочного процесса, определяется методами непосредственного расчета:

$$Z_T = \sum_{j=1}^n (Z_{\text{топ}_j} + Z_{\text{см}_j} + Z_{\text{ш}_j} + Z_{\text{А}_j} + Z_{\text{зч}_j} + Z_{\text{о}_j} + Z_{\text{в}_j} + Z_{\text{опр}_j}), \quad (4)$$

где $Z_{\text{топ}_j}$ – затраты на топливо j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{см}_j}$ – затраты на смазочные материалы j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{ш}_j}$ – затраты на восстановление износа шин j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{А}_j}$ – затраты на амортизацию j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{зч}_j}$ – затраты на запасные части j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{о}_j}$ – затраты на обслуживание j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{в}_j}$ – затраты на зарплату водителям j -го типа автомобиля, руб.;

$Z_{\text{опр } j}$ – общепроизводственные и общехозяйственные расходы по j -му типу автомобиля, руб.;

n – количество типов автомобилей в потоке, шт.

Внетранспортные затраты включают затраты других отраслей народного хозяйства, возникающие в связи с неблагоприятными дорожными условиями:

$$Z'_{\text{внтр}} = P_t + O_t + O_t^c + \Pi_{\text{cit}} + \Pi_{\text{рн}} + \Pi_{\text{туит}} + \Pi_{\text{иуит}} + Z_t^u + \Pi_t^{\text{сх}}, \quad (5)$$

где P_t – годовые потери, связанные с затратами времени населения на поездки, руб.;

O_t – затраты оборотных средств предприятий в связи с пребыванием грузов в пути, руб.;

O_t^c – затраты оборотных средств предприятий в связи с сезонными перерывами в движении в году t , руб.;

Π_{cit} – потери от ДТП на i -том участке дорожного сооружения, связанные со смертельными случаями, руб.;

$\Pi_{\text{рн}}$ – потери от ДТП на i -том участке дорожного сооружения, связанные с тяжелыми и легкими ранениями, руб.;

$\Pi_{\text{туит}}$ – потери от ДТП на i -том участке дорожного сооружения в t -м году, связанные с повреждением и транспортировкой транспортных средств, руб.;

$\Pi_{\text{иуит}}$ – потери от ДТП на i -том участке дорожного сооружения в t -м году, связанные с повреждением дорожных сооружений, руб.;

Z_t^u – затраты на развитие отраслей материального производства в связи с неблагоприятными дорожными условиями, руб.;

$\Pi_t^{\text{сх}}$ – потери сельского хозяйства в связи с неблагоприятными дорожными условиями.

В состав транзакционных издержек входят затраты в сферах проектирования и постройки: связанные с организацией ремонта и реконструкции автомобильной дороги, включающие поиск информации, выбор партнеров, ведение переговоров и заключение договоров, формирование материальных, транспортных и трудовых потоков; связанные с обеспечением экономической безопасности, проведением подрядных торгов, рекламой.

Расчет затрат выполняется по методике определения эффективности инвестиций в строительство, реконструкцию, ремонт и содержание автомобильных дорог, разработанной РУП «Белгипродор» [6]. Определение затрат осуществляется на основе сметно-финансовых расчетов или утвержденных нормативов удельных показателей стоимости строительства, содержания, ремонта и реконструкции дорожных сооружений, а в случае отсутствия указанных расчетов или нормативов на основе аналогов.

В этом случае при сохранении критерия оптимальности по суммарным затратам S за расчетный период эксплуатации дороги T требуется отыскать минимум этих затрат с учетом их отдаленности в функции двух независимых переменных t_1 и t_2 , т. е. требуется отыскание минимума функции от двух переменных t_1 и t_2 в любом возможном их сочетании:

$$S_{\text{min}} = f(t_1; t_2) \quad (6)$$

Решение этой задачи можно было бы базировать на подсчетах суммарных затрат S для ряда расчетных сочетаний t_1 и t_2 , задаваясь возможно меньшим интервалом Δt_1 и Δt_2 . При этом с уменьшением интервала Δt повышается точность определения взаимоувязанных оптимальных сроков t_1 и t_2 , но возрастает число расчетных вариантов. Например, при $T = 20$ лет и $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 1$ году число расчетных сочетаний t_1 и t_2 достигнет огромной величины

$$\left(\frac{T}{\Delta t} + 1\right)^2 = \left(\frac{20}{1} + 1\right)^2 = 442 \text{ варианта. Даже при увеличении шага до пяти лет } \Delta t_1 = \Delta t_2 = 5$$

все же потребуются рассчитать 25 вариантов, для каждого из которых потребуется определить сумму всех расходов за 20-летний период. С изменением исходных данных число вари-

антов будет соответственно возрастать в n раз, где n – число переменных исходных данных.

Трудоемкость таких расчетов определяет безусловную целесообразность использования для решения этого рода задач современных электронных вычислительных машин. С помощью ЭВМ возможно прежде всего получение суммарных расходов S для любых расчетных значений t_1 и t_2 . Подсчеты суммарных расходов для расчетных комбинаций t_1 и t_2 дают возможность построить пространственную модель – поверхность $S = f(t_1; t_2)$, на которой наносятся изолинии равных значений S через любой выбранный интервал изменения S , как это показано на рисунке 1.

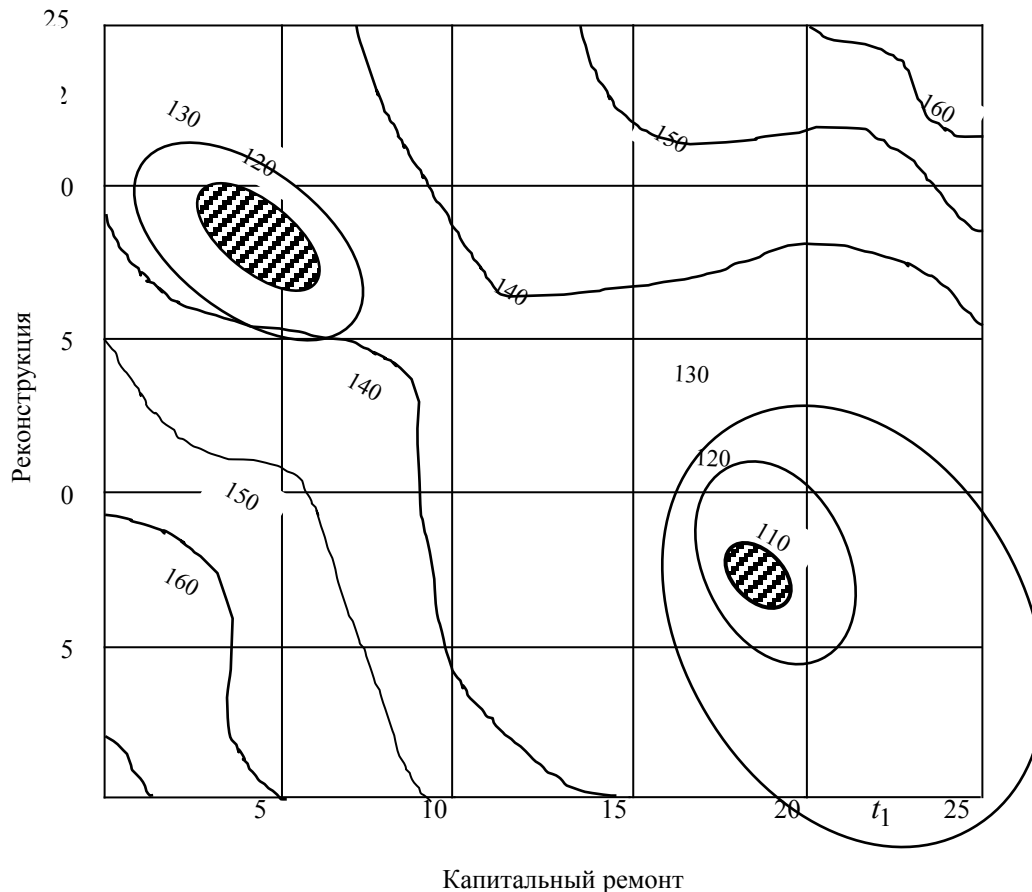


Рисунок 1 – Зависимость суммарных затрат $S = f(t_1; t_2)$

Построение такой модели имеет то преимущество перед полностью автоматизированным решением с применением метода, например, наискорейшего спуска, что при построении пространственной модели представляется возможность более наглядного анализа и обоснованного выбора оптимальных сочетаний сроков проведения капитального ремонта и реконструкции. Кроме того, надо иметь в виду, что поверхность $S = f(t_1; t_2)$ может иметь не один минимум при различных оптимальных сочетаниях t_1 и t_2 . Это очень существенно, так как в определенных условиях может оказаться целесообразным по тем или иным соображениям принять не абсолютный по величине минимум, а близкий к нему, но дающий более конкурентное решение в отношении практически рационального сочетания сроков t_1 и t_2 .

В каждом узле сетки, отражающей разные варианты сроков проведения капитального ремонта и реконструкции автомобильной дороги, на рисунке 1 размещаются значения суммарных затрат. Линии, соединяющие одинаковые значения затрат, строятся аналогично построению горизонталей на плане местности, т. е. производится интерполяция графическим способом по известным отметкам в узлах сетки (по линиям равномерных скатов) через 10 млн руб. (например 140, 130 и т. д.). Соединяя точки с одинаковыми отметками, ломаны-

ми округленными в перегибах, нарисованы линии аналогичные горизонталям.

На рисунке 1 получены два минимума. Первый минимум – абсолютный $S = 90$ млн руб. при $t_1 = 5$ и $t_2 = 19$ лет, т. е. $t_1 < t_2$, что означает целесообразность сначала проведения капитального ремонта на данном участке автомобильной дороги, а затем, через 14 лет, его реконструкции. Второй минимум несколько большей абсолютной величины и соответствует другому сочетанию оптимальных сроков t_1 и t_2 : $t_1 = 18$ годам и $t_2 = 8$ годам, $t_1 > t_2$, т. е. целесообразно перевести участок дороги в более высокую категорию, а затем (через 10 лет) уже проводить его капитальный ремонт. В каждом конкретном случае такие материалы позволяют наиболее обоснованно выбрать оптимальное проектное решение.

Заключение. В результате анализа существующих методов определения ремонтных работ на автомобильных дорогах выявлены определяющие критерии для выбора участков и сроков их проведения. При выборе участков, исходят из транспортно-эксплуатационного состояния дорожной одежды, на основании чего назначаются виды ремонтных мероприятий, рассчитывается их стоимость и эффект от проведения. При этом не учитывается многоэтапность капитальных вложений, когда может быть получена заданная величина эффективности при вариантной разработке схем инвестирования в автомобильную дорогу.

Для отыскания оптимального решения при двух и более независимых переменных, т. е. при многомерном поиске разработана методика определения сроков и очередности проведения капитального ремонта и реконструкции автомобильной дороги путем отыскания оптимума на поверхности отклика при двух независимых переменных, позволяющая, в отличие от существующих, учесть многоэтапные инвестиции в автомобильную дорогу и выбрать рациональное сочетание их первоначального уровня и последующих текущих затрат пользователей автомобильной дороги.

Литература

1. Леонович, И.И. Диагностика автомобильных дорог : учеб. пособие / И.И. Леонович, С.В. Богданович, И.В. Нестерович. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2011. – 350 с.
2. Рекомендации по назначению ремонтных мероприятий с учетом расчетных межремонтных сроков службы дорожных конструкций : ДМД 02191.5.002–2006 : введ. 01.03.07. – Минск : Белорус. дор. инж.-техн. центр, 2007. – 21 с.
3. Буртыль, Ю.В. Обоснование проведения ремонтов автомобильных дорог на основании динамики изменения их эксплуатационного состояния : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.23.11 / Ю.В. Буртыль ; БНТУ. – Минск, 2014. – 21 с.
4. Автомобильные дороги. Классификация и состав работ по строительству, реконструкции и капитальному ремонту : ТКП 068-2007 (02191). – Введ. 01.06.2007. – Минск : Белдорцентр, 2007. – 7 с.
5. Программа «Дороги Беларуси» на период 2006–2015 годы. – Т. 1 : Основные положения. – Минск, 2006. – 48 с.
6. Методика определения эффективности инвестиций в строительство, реконструкцию, ремонт и содержание автомобильных дорог. – Минск : РУП «Белгипродор», 2005. – 307 с.