

УДК 625.7;65.001.1

ВЫБОР ПРОЕКТА РЕМОНТА АВТОМАГИСТРАЛИ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ С УЧЕТОМ РИСКОВ

Д.т.н. Л.И. Нефёдов, к.т.н. И.Г. Ильге, Харьковский национальный автомобильный университет

Представлены модели выбора проекта ремонта автомагистрали на основе прецедентов и модели выбора прецедентов состояния дороги и проекта ремонта с учетом рисков.

Представлені моделі вибору проекту ремонту автомагістралі на основі прецедентів і моделі вибору прецедентів стану дороги та проекту ремонту з урахуванням ризику.

Model of choice highway repairing project based on precedents and models of choice precedents road conditions and repairing projects on the basis of the accepted level of risk presents in the article.

Ключевые слова: транспортно-эксплуатационные показатели, состояние отрезка дороги, теория прецедентов, проект ремонта, автомобильная дорога, риск, имитационное моделирование

Введение

Эффективность функционирования автомагистралей в большой степени зависит от состояния дороги, для поддержания которого на должном уровне необходимо проводить ремонтные работы. Это, в свою очередь, невозможно без своевременного планирования ремонтных работ с учетом накопленного опыта и возможных рисков.

Поэтому является актуальной разработка модели выбора варианта ремонта автомобильной дороги на основе прецедентов с учетом риска, позволяющая выполнить планирование в сжатые сроки с помощью современных компьютерных технологий управления проектами.

Анализ публикаций

Содержание и объем работ проекта по ремонту автомобильной дороги определяется состоянием участка дороги. Для его определения обычно используют комплексную оценку состояния дорог по их потребительским характеристикам [1].

В набор потребительских характеристик для комплексной оценки, как правило, включают интенсивность и структуру транспортного потока; ширину основной укрепленной поверхности дороги; ширину и состояние обочин; продольные уклоны; радиусы кривых в плане и уклон виражей; ровность покрытия; коэффициент сцепления колес с покрытием [1].

В работе [2] была предложена модель выбора проекта ремонта автомагистрали, опирающаяся на накопленный опыт ведения проектов ремонтных работ на автомобильных дорогах на базе теории прецедентов и позволяющая на основе оценки состояния отрезков

дороги формировать планы проектов ремонтных работ. Однако эта модель оперирует детерминированными значениями ограничений на параметры проекта и не учитывает уровень риска.

Практически реализуемая методика выбора проекта, опирающаяся на стандартное программное обеспечение управления проектами и позволяющая учитывать заданный уровень риска, предложена в работе [3]. Однако в этой методике не учитывается накопленный опыт ведения проектов и она реализована для другой предметной области.

Таким образом, актуальной является задача построения модели выбора проекта ремонта автомагистрали, опирающаяся на накопленный опыт реализованных проектов ремонтных работ на автомобильных дорогах на базе теории прецедентов и учитывающая уровень риска.

Цель и постановка задачи

Цель работы – снижение временных, финансовых затрат и ресурсов на формирование, подготовку проекта ремонта дороги и планирование его работ за счет разработки и использования модели выбора проекта ремонта автомагистрали на основе прецедентов с учетом риска.

Модели идентификации состояния дороги, выбора прецедентов состояния дороги и проекта ремонта

На основании эффективного использования существующего опыта, представленного в виде прецедентов (case-based reasoning) CBR, будем определять необходимые для построения проекта и плана ремонта данные о содержании и длительности работ, а также требуемых ресурсах.

Введем прецедент как множество $\Pi = \{s, r\}$, где $s \in S$ – множество параметров состояния дороги, $r \in R$ связанный с ней проект ремонта.

Состояние дороги s характеризуется множеством параметров P_1, \dots, P_n , описывающих данный прецедент $(p_1 \in P_1, p_2 \in P_2, \dots, p_n \in P_n)$, где n – количество параметров прецедента, а P_1, P_2, \dots, P_n – области допустимых значений соответствующих параметров прецедента.

В состав информационной модели определения состояния дороги входят такие параметры как: интенсивность и структура транспортного потока, ширина проезжей части, ширина укрепленной полосы обочины, ширина обочины, продольный уклон, радиус кривой в плане, расстояние видимости поверхности

Технология приборостроения

дороги, ровность покрытия, коэффициент сцепления колес с покрытием и категория дороги. Параметры представлены в модели в количественном виде.

Для учета важности перечисленных параметров состояния дороги экспертами вводятся весовые коэффициенты его важности ω_i , соответствующие каждому параметру.

Извлечение прецедентов из базы прецедентов (БП) проведем с помощью модифицированного метода ближайшего соседа, описанного в работе [4], в которой дополнительно вводятся специальная величина Q^* – пороговое значение степени сходства прецедентов (s_{II}) и текущей ситуации (s_T) и предусмотрена возможность учета коэффициентов важности параметров. Это позволит выбрать некоторое множество прецедентов W (ближайших соседей), степень сходства которых больше или равна пороговому значению ($\Delta(s_{II}, s_T) \geq Q^*$).

Рассмотрим постановку задачи выбора прецедентов из БП на основе алгоритма [4], но с использованием Манхэттенской метрики.

Входными параметрами являются:

- множество значений параметров $s_T = \{p_{i^*}^{s_T}\}$,
- $i^* = \overline{1, n}$, описывающих текущее состояние дороги;
- непустое множество $\Pi = \{\Pi_j^* \{s_{j^*}, r_{j^*}\}\}$,
- $j^* = \overline{1, m^*}$ параметров состояний s_j отрезков дороги, и связанных с ними выполненных проектов ремонтов в БП – r_j ;

- количество выполненных ремонтов в БП – m^* ;
- весовые коэффициенты важности параметров состояния дороги – $\omega_1, \dots, \omega_n$;
- пороговое значение степени сходства – Q^* .

Необходимо найти множество прецедентов состояния дороги и возможных проектов её ремонта $W = \{W_{j^*}^* \{s_{j^*}, r_{j^*}\}\}$, $j^* = \overline{1, m^*}$, которые имеют степень сходства (близости) большую или равную пороговому значению Q^* .

На основе модифицированного метода определения ближайшего соседа (ближайших соседей) был разработан соответствующий метод извлечения прецедентов [3].

На рис. 1 представлена схема алгоритма метода выбора прецедентов состояния дороги и проектов их ремонта.

В результате, найденные прецеденты могут быть упорядочены по убыванию значений их степени сходства с текущим состоянием дороги, а проекты ремонта образуют множество W возможных проектов.

В качестве характеристик проекта ремонта используются следующие: виды работ и сроки их выполнения; коды специальности и количество работников; виды и количество единиц разных типов

технических средств; виды и количество материальных ресурсов, стоимость и сроки исполнения проекта в целом.

Модели выбора эффективного проекта

Рассмотрим постановку задачи выбора эффективного проекта ремонта.

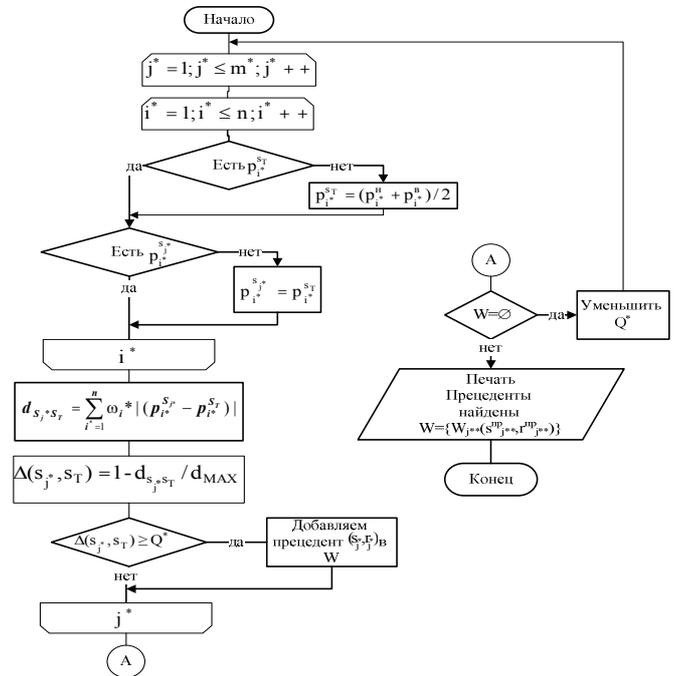


Рис. 1. Схема алгоритма выбора прецедентов состояния дороги и проектов ремонта

Известно:

– множество реализованных проектов ремонтов $\overline{W} = \{\overline{W}_\zeta\}$; $\zeta = \overline{1, \zeta'}$, где ζ' – количество проектов ремонтов.

– каждый проект ремонта характеризуется: множеством технических, людских и материальных ресурсов $\overline{W}_\zeta \rightarrow \{Q_q\}, \{L_l\}, \{F_f\}$; $\zeta = \overline{1, \zeta'}$, а $q = \overline{1, q'}$; $l = \overline{1, l'}$; $f = \overline{1, f'}$; q', l', f' – количество соответствующих ресурсов; а также необходимыми капитальными затратами на момент реализации проекта \overline{C}_ζ ; $\zeta = \overline{1, \zeta'}$ и затрачиваемым временем \overline{T}_ζ ; $\zeta = \overline{1, \zeta'}$ на выполнение; множеством длительностей работ в проекте $\overline{t}_{\zeta k}$, задаваемыми экспертами или интервальной оценкой; $\zeta = \overline{1, \zeta'}$ $\zeta k = \overline{1, k'}$; k' – количество работ в ζ -м проекте.

Введем переменную $\pi_\zeta = \{0, 1\}$, где $\pi_\zeta = 1$ – если выбран ζ -й проект ремонта, $\pi_\zeta = 0$ – в противном случае. Обозначим через RISK – обобщенный риск.

Необходимо выбрать проект ремонта по заданным критериям и ограничениям, с учетом текущих цен и заданным уровнем риска.

В качестве критериев выбора могут применяться:

– скорректированные минимальные капитальные затраты на текущий момент реализации ζ -го проекта ремонта с учетом риска:

$$\bar{C} = \min \sum_{\zeta=1}^{\zeta'} \bar{C}_{\zeta} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \quad (1)$$

где $\pi_{\zeta} = 1$, если выбран ζ -й план, 0 – в противном случае;

– минимальная продолжительность реализации плана ремонта с учетом риска:

$$\bar{T} = \min \sum_{\zeta=1}^{\zeta'} \bar{T}_{\zeta} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \quad (2)$$

Область допустимых решений задается следующими ограничениями:

– капитальные затраты не должны превышать заданных $\bar{C}_{зад}$:

$$\sum_{\zeta=1}^{\zeta'} \bar{C}_{\zeta} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \leq \bar{C}_{зад} \quad (3)$$

– продолжительность реализации плана не должна превышать заданную $\bar{T}_{зад}$:

$$\sum_{\zeta=1}^{\zeta'} \bar{T}_{\zeta} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \leq \bar{T}_{зад} \quad (4)$$

– технические, людские и материальные ресурсы, используемые при реализации ζ -го проекта ремонта не должны превышать заданных $\bar{Q}_{зад}^{\zeta}$, $\bar{L}_{зад}^{\zeta}$, $\bar{F}_{зад}^{\zeta}$:

$$\sum_{q=1}^{q'} \bar{Q}_{\zeta q} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \leq \bar{Q}_{зад}^{\zeta}, \quad \zeta = \overline{1, \zeta'} \quad (5)$$

$$\sum_{l=1}^{l'} \bar{L}_{\zeta l} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \leq \bar{L}_{зад}^{\zeta}, \quad \zeta = \overline{1, \zeta'} \quad (6)$$

$$\sum_{f=1}^{f'} \bar{F}_{\zeta f} \left[\bar{t}_{\zeta\kappa} (RISK) \right] \pi_{\zeta} \leq \bar{F}_{зад}^{\zeta}, \quad \zeta = \overline{1, \zeta'} \quad (7)$$

– из множества проектов ремонта \bar{W} должен быть выбран только один проект:

$$\sum_{\zeta=1}^{\zeta'} \pi_{\zeta} = 1 \quad (8)$$

Приведенная модель (1) – (8) относится к задачам многокритериального линейного дискретного программирования с булевыми переменными.

Для учета риска при подсчете значений критериев выбора и при проверке соблюдения ограничений необходимо провести имитационное моделирование каждого из извлеченных проектов на текущий момент реализации выбираемого проекта ремонта.

Метод анализа планов проектов ремонта дороги

Для оценки плана проекта ремонта дороги предлагается выполнить следующие действия:

1. План проекта, извлеченный из БП, накладывается на реальный календарь планируемых ремонтных работ.

2. Проводится выравнивание загрузки ресурсов проекта и предварительно оцениваются общие параметры проекта.

3. Задается необходимый уровень риска достижения запланированных сроков выполнения проектов и с помощью системы Turbo Risk Manager выполняется имитационное моделирование [5].

4. Оценивается продолжительность проекта и дисперсия по продолжительности проекта при разных уровнях риска.

Пример анализа плана проекта ремонта

Исходя из типовой структуры работ проекта и технологического порядка выполнения работ по проведению ремонта дороги создается структура плана проекта в системе MS Project [1]. Структура декомпозиции работ проекта с предварительными оценками длительности работ представлена на рисунке 2.

Название задачи	Стилистическая длительность	Оригинальная длительность	Технистическая длительность
Проект Ремонт	4,5 дней	5,75 дней	8,86 дней
Ремонт асфальтового покрытия	0,63 дней	0,69 дней	1,13 дней
запробетонні плити	3 ч	3 ч	5,5 ч
запробетонні шпальти	2 ч	2,5 ч	3,5 ч
Знімання асфальтового покриття	4 ч	6 ч	7,5 ч
Земляні роботи по устрою підходів до перетину	0,69 дней	1 день	1,31 дней
врізання ґрунту	3 ч	5 ч	6,5 ч
досипів ґрунту	2,5 ч	3 ч	4 ч
Ремонт забороз	0,25 дней	0,38 дней	0,63 дней
Перестановка перильних забороз	2 ч	3 ч	5 ч
Установка нових перильних забороз	2 ч	2,5 ч	4 ч
Улаштування нового асфальтового покриття	1 день	1,38 дней	2,13 дней
Підсітка шпальти	2 ч	3 ч	4 ч
Підсітка шпальти, обробленої в'язким естумом	2,5 ч	4 ч	6 ч
Уклад асфальту	3,5 ч	4 ч	7 ч
Укладання нового перехідного настилу з б_плі	0,63 дней	0,81 дней	1 день
Укладання гліт 2896*1340 мм	3,5 ч	4 ч	5,5 ч
Укладання гліт 2160*1000*100 мм	6 ч	6,5 ч	8 ч
Укладання нового пішоводного настилу з б_плі	0,69 дней	0,75 дней	0,88 дней
Укладання гліт 1070*1000*100 мм	5,5 ч	6 ч	7 ч
Улаштування пішоводної доріжки	0,63 дней	0,75 дней	1 день
Підсітка піску і цементу	5 ч	6 ч	8 ч
Уклад асфальту	3,5 ч	4 ч	6,5 ч
Ремонт охоронних стовпчиків	0,46 дней	0,5 дней	0,78 дней
Перестановка стовпчиків	1,8 ч	2 ч	3 ч
Установка нових стовпчиків	3,7 ч	4 ч	6,2 ч
Обладнання шлагбаумів	0,7 дней	0,88 дней	1 день
Установка автоматичних шлагбаумів	5,6 ч	7 ч	8 ч
Установка зап'ячних шлагбаумів	3,6 ч	4 ч	5,3 ч

Рис. 2. Структура работ проекта ремонта

Проект Ремонту	7,24 днєй	6,3 днє
Розбирання існуючого настилу	1,02 днєй	0,12 днє
завісобетонні плити	4,9 ч	0,09 днє
завісобетонні шпалы	3,25 ч	0,04 днє
Знімання асфальтового покриття	6,78 ч	0,08 днє
Земляні роботи по устроєнню підходів до переїзду	1,18 днєй	0,09 днє
зрівняння ґрунту	5,75 ч	0,08 днє
досипка ґрунту	3,67 ч	0,04 днє
Ремонт загорож	0,54 днєй	0,08 днє
Перестановка перільних загорож	4,3 ч	0,09 днє
Установка нових перільних загорож	3,27 ч	0,05 днє
Улаштування нового асфальтового покриття	1,85 днєй	0,14 днє
Підсіпка шибни	3,57 ч	0,05 днє
Підсіпка шибни, обробленої в'язким бітумом	4,95 ч	0,09 днє
Укладка асфальту	6,27 ч	0,12 днє
Укладання нового перехідного настилу з б плит	0,91 днєй	0,06 днє
Укладання плит 2696*1340 мм	5,03 ч	0,06 днє
Укладання плит 2160*1000*100 мм	7,27 ч	0,06 днє
Укладання нового пішохідного настилу з б плит	0,83 днєй	0,04 днє
Укладання плит 1070*1000*100 мм	6,67 ч	0,04 днє
Улаштування пішохідної доріжки	0,92 днєй	0,09 днє
Підсіпка піску і шибни	7,35 ч	0,09 днє
Укладка асфальту	6,1 ч	0,11 днє
Ремонт охоронних стовбчиків	0,7 днєй	0,09 днє
Перестановка стовбчиків	2,78 ч	0,04 днє
Установка нових стовбчиків	5,6 ч	0,09 днє
Обладнання шлагбаумів	0,95 днєй	0,06 днє
Установка автоматичних шлагбаумів	7,62 ч	0,06 днє
Установка запасних шлагбаумів	4,93 ч	0,05 днє

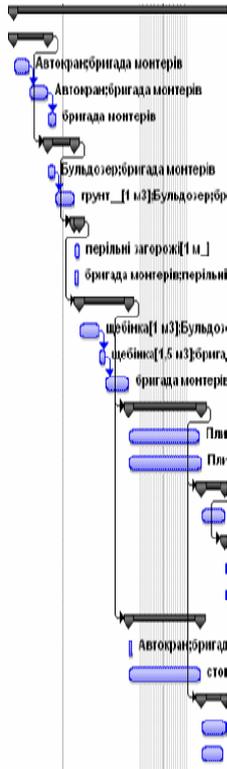


Рис. 3. Диаграмма Ганта для малого риска

Проект Ремонту	6,22 днєй	0,29 днє
Розбирання існуючого настилу	0,82 днєй	0,09 днє
завісобетонні плити	3,9 ч	0,08 днє
завісобетонні шпалы	2,68 ч	0,05 днє
Знімання асфальтового покриття	5,65 ч	0,1 днє
Земляні роботи по устроєнню підходів до переїзду	1,02 днєй	0,1 днє
зрівняння ґрунту	4,9 ч	0,08 днє
досипка ґрунту	3,3 ч	0,05 днє
Ремонт загорож	0,39 днєй	0,06 днє
Перестановка перільних загорож	3,1 ч	0,08 днє
Установка нових перільних загорож	2,83 ч	0,05 днє
Улаштування нового асфальтового покриття	1,54 днєй	0,16 днє
Підсіпка шибни	3,07 ч	0,05 днє
Підсіпка шибни, обробленої в'язким бітумом	4,4 ч	0,11 днє
Укладка асфальту	4,88 ч	0,1 днє
Укладання нового перехідного настилу з б плит	0,84 днєй	0,07 днє
Укладання плит 2696*1340 мм	4,53 ч	0,07 днє
Укладання плит 2160*1000*100 мм	6,73 ч	0,07 днє
Укладання нового пішохідного настилу з б плит	0,79 днєй	0,04 днє
Укладання плит 1070*1000*100 мм	6,35 ч	0,04 днє
Улаштування пішохідної доріжки	0,8 днєй	0,08 днє
Підсіпка піску і шибни	6,43 ч	0,08 днє
Укладка асфальту	4,72 ч	0,1 днє
Ремонт охоронних стовбчиків	0,6 днєй	0,09 днє
Перестановка стовбчиків	2,33 ч	0,04 днє
Установка нових стовбчиків	4,77 ч	0,09 днє
Обладнання шлагбаумів	0,9 днєй	0,06 днє
Установка автоматичних шлагбаумів	7,18 ч	0,06 днє
Установка запасних шлагбаумів	4,35 ч	0,05 днє

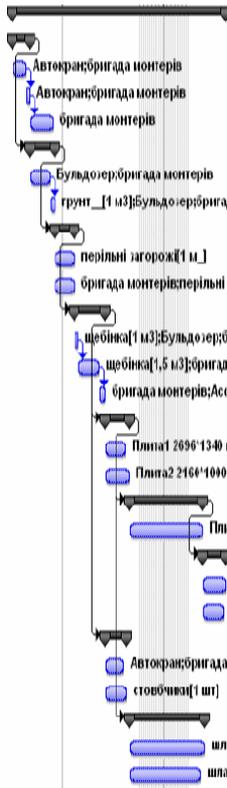


Рис. 4. Диаграмма Ганта для высокого риска

Статистический эксперимент был организован в программной среде MS Project с использованием модуля Turbo Risk Manager и проводился с уровнями вероятности достижения запланированных сроков 50% (высокий риск), 75% (средний уровень риска), 85% (низкий риск), 90% (малый риск). Число прогонов модели задано 50.

Планы проекта ремонта в представлении диаграммы Ганта с указанием дисперсии длительности работ для высокого и малого уровня риска приведены на рисунках 3,4.

Результаты имитационного моделирования для разных уровней риска достижения сроков реализации проекта ремонта представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Зависимость длительности проекта ремонта от уровня риска

Вероятность завершения проекта в срок	Длительность проекта	Дисперсия длительности
0,5	6,32	0,37 дня
0,75	6,8 днєй	0,34 дня
0,85	7,05 днєй	0,31 днєй
0,9	7,24 днєй	0,3 днєй

Выводы.

Таким образом усовершенствована модель выбора проекта ремонта дороги на основе прецедентов за счет разработки метода анализа вариантов плана проекта на основе имитационного моделирования. Это позволяет выбирать план проекта ремонта дороги с учетом заданного уровня риска завершения проекта в срок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Справочная энциклопедия дорожника том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог / [Под ред. проф. А.П. Васильева], – МОСКВА; 2004. – 1279 с.
2. Нефёдов Л.И. Имитационное моделирование реализации проекта ликвидации чрезвычайной природной ситуации на магистральной автомобильной дороге/ Л.И. Нефёдов, В.Е. Овчаренко, И.Г. Ильге, Ю.Л. Губин // Технологии приборостроения. – 2009.- №1. – С.17-19
3. Нефёдов Л.И. Модель выбора проекта ремонта автомагистрали на основе прецедентов / Л.И. Нефёдов, И.Г. Ильге, Д.А. Маркозов, Р.Н. Миськевич// Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. Выпуск 61-62.-Харьков: ХНАДУ, 2013.-№61-62. С.223-227.
4. Нефёдов Л.И. Метод поиска прецедентов проектов ликвидации чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах / Л.И. Нефёдов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 1/3 (43). – С. 50–52
5. www.microsoftproject.ru/articles.phtml?aid=158#risk