УДК 625.7.032.32: 625.76

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д-р техн. наук, профессор **О.А. Красиков**
(ФАУ «РОСДРОРНИИ»)
Конт. информация: krasikov@rosdornii.ru

На основе совершенствования существующих методических положений создана новая экономико-математическая модель обоснования требований к ровности дорожных покрытий с учетом минимизации функционала, представляющего суммарные дисконтированные затраты, выраженные функцией состояния дорожного покрытия по международному индексу ровности.

В модели оптимизации использованы новые математические модели прогнозирования изменения международного индекса ровности во времени. Реализация разработанной экономико-математической модели позволила обосновать требуемые значения международного индекса ровности дорожных покрытий в период их эксплуатации, что установлено впервые для дорожной отрасли Российской Федерации. В отличие от ранее выполненных оптимизационных расчетов, при обосновании требований к ровности дорожных покрытий использованы квазиоптимальные коридоры, анализ которых позволяет обосновать наиболее рациональные значения допуска ровности. Использование полученных результатов позволяет повысить объективность оценки ровности покрытий и обосновать необходимость выполнения упреждающих ремонтов.

***Ключевые слова**: ровность дорожных покрытий, международный индекс ровности, экономико-математическая модель, суммарные дисконтированные затраты, квазиоптимальный коридор допуска ровности, требования к ровности в период эксплуатации.*

Ровность дорожных покрытий является одним из важнейших показателей транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, от которого зависит удобство, безопасность и скорость движения автомобилей, а также транспортные расходы, в том числе, расход топлива и себестоимость перевозок. Требования к ровности покрытий задаются нормами, которые служат критерием для назначения ремонтных работ, и это во многом определяет эффективность использования денежных средств, выделяемых на ремонты.

На стадии эксплуатации дороги ровность претерпевает естественную деградацию во времени, при этом наступает момент, когда силами и средствами содержания технически невозможно и экономически нецелесообразно поддерживать ровность покрытия на уровне требований существующей интенсивности движения транспорта. Это обусловливает необходимость нормирования ровности покрытий в период эксплуатации, которая не должна быть хуже предельных значений по экономическим критериям и по условиям безопасного движения транспортного потока.

Для оценки ровности дорожных покрытий в период эксплуатации наибольшее распространение в мировой практике получил международный индекс ровности (англ. International Roughness Index – *IRI*). Нормы ровности по шкале *IRI* в период эксплуатации дорожных покрытий существуют во многих странах мира, в том числе, в странах Таможенного союза и Европы. Например, в отдельных штатах США требования к ровности в период эксплуатации дорожных покрытий представлены в интервале от *IRI* = 2,4 до 3,3 м/км, в среднем по странам Европы – от 2,7 до 6 м/км, в Казахстане – от 3,4 до 6,6 м/км, в Беларуси – от 4,5 до 7,9 м/км, по рекомендациям Всемирного банка – от 3,3 до 5,5 м/км **[1]**.

В период эксплуатации следует различать требования к ровности дорожных покрытий на двух этапах службы **[2]**.

На *первом этапе* – это требования к ровности дорожного покрытия, когда возникает необходимость и экономическая целесообразность ее улучшения средствами упреждающего ремонта, т.е. поддержания оптимального уровня ровности для обеспечения адекватной скорости транспортного потока.

На *втором этапе* – требования к ровности дороги без выполнения плановых упреждающих ремонтов с ухудшением ее до такого состояния, когда становится небезопасным движение автомобилей. Эти требования по шкале *IRI* представлены в **[3]**. В России требования к ровности дорожных покрытий в период эксплуатации на первом этапе заданы по показателям измерительных средств ПКРС-2У и ТХК-2, которые не изменялись с 1989 г. **[4]**. *Требования по шкале IRI в период эксплуатации на первом этапе в действующих Российских нормативных документах отсутствуют.*

Анализируя исследования, связанные с обоснованием требований к автомобильным дорогам, в частности по ровности и прочности, можно заключить, что большинство авторов в своих работах используют методики, базирующиеся на технико-экономическом обосновании с рассмотрением всех видов затрат во времени. В этом случае используется критерий суммарных дисконтированных затрат.

Для оптимизационных расчетов разрабатывают и используют экономико-математические модели, которые описывают работу изучаемого объекта. С позиции эксплуатации дорог обобщенной характеристикой состояния дорожного покрытия является обеспечиваемая этим состоянием скорость движения транспорта. Применимость этого основана на предположении, что степень удовлетворения требований к дорожному покрытию проявляется в процессе перевозок: дорожное покрытие в зависимости от его состояния «обеспечивает» возможные условия движения, а поток автомобилей «реализует» эту возможность сообразно состоянию дороги.

Скорость обусловливает конечный результат работы дорожного покрытия в виде транспортно-эксплуатационных расходов, которые составляют значительную часть суммарных дисконтированных затрат.

Таким образом, основным критерием оптимизации параметров автомобильной дороги, в частности, требований к ровности, являются ***суммарные дисконтированные затраты***. Для использования этого критерия была разработана экономико-математическую модель, которая связывает техническое состояние дорожного покрытия с экономическими показателями.

В результате анализа структуры суммарных дисконтированных расходов, представленных с учетом интегрального суммирования **[5]**, выделения наиболее значимых и чувствительных факторов, модель операционной цепи представлена следующим преобразованным функционалом:

$$C_s = \sum_{t_i=1}^{T_c} \frac{Э_{тр}(t) + Э_{сод}(t)}{(1+E_{нп})^{t_i}} + \sum_{1}^{n} \frac{Э_р}{(1+E_{нп})^{t_i}} + \frac{Э_в}{(1+E_{нп})^{T_c+1}}, C_s \rightarrow min, \quad (1)$$

где

T_c – срок суммирования затрат по годам службы покрытия t_i, равный сроку службы дорожной одежды, лет;

$Э_{тр}(t)$ – годовые транспортные расходы, тыс. руб.;

$E_{нп}$ – нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат, равный 0,08 (как это принято для решения оптимизационных задач);

n – количество ремонтов по восстановлению ровности за срок T_c, шт.;

$Э_р$ – затраты на ремонт покрытия по восстановлению ровности, осуществляемого в год t_i, тыс. руб.;

$Э_в$ – затраты на подготовку покрытия к капитальному ремонту, тыс. руб.;

$Э_{сод}(t)$ – годовые расходы на содержание, тыс. руб.

В оптимизационных расчетах использована размерность затрат в тыс. руб. с учетом базового периода 2007 г. В конечном счете, полученные результаты в денежном выражении могут быть приведены к любому времени и к любой валюте в соответствии с существующими коэффициентами. Следует отметить, что в поставленной задаче важно соотношение затрат, а не их денежное выражение, так как целью является получение количественных значений технических параметров, а именно требований к ровности дорожных покрытий в период их эксплуатации.

Транспортно-эксплуатационные расходы зависят от интенсивности, состава и скорости движения автомобилей. С учетом изменения параметров во времени получена и использована обновленная формула **[5]**:

$$Э_{тр}(t) = n_p \times N(t) \times \frac{a_c + b_c \times V(t)}{V(t)} , \quad \textbf{(2)}$$

где

n_p – количество дней в году с расчетным движением (в данном случае $n_p = 365$ дней, так как в расчетах принимается среднегодовая интенсивность движения транспорта N(t);

a_c – постоянная составляющая себестоимости перевозок (заработная плата водителя и накладные расходы), руб./ авт.-ч, отнесенная к 1 авт.-ч работы автомобиля ($a_c \approx 100{,}7$ руб./авт.-ч, 2007 г.);

b_c – средняя переменная величина составляющей себестоимости перевозок (затраты на топливо, смазочные материалы, шины, техническое обслуживание, ремонт и амортизацию), отнесенная к 1 авт.-км пробега автомобиля ($b_c \approx 4{,}5$ руб./авт.-км);

V(t) – скорость движения транспортного потока, км/ч.

При моделировании процесса оптимизации допуска по ровности покрытия важно представить скорость движения $V(t)$ в формуле **(2)** функцией ровности.

С учетом принятых допущений по параметрам, которые будут постоянными при варьировании ровностью дорожного покрытия, в модели оптимизации была использована обновленная формула, полученная на основе актуализации ранее установленной автором модели **[6]**:

$$V(t) = V_0 \left\{1 - \alpha_S \left[exp\left(\frac{ln\,(IRI_t - 0{,}8253)}{0{,}7937} + 3{,}1343\right)\right]\right\} , \quad \textbf{(3)}$$

где

$V_0 = 78{,}9$ км/ч – скорость транспортного потока, принимаемая для выполнения оптимизационных расчетов;

α_S – параметр уравнения ($\alpha_S = 8{,}26 \times 10^{-4}$);

$IRI_t > 0{,}8253$.

Для определения ровности покрытия по годам службы по шкале *IRI* в формуле **(3)** были использованы новые математические модели прогнозирования ровности **[7]**:

– покрытия на одеждах облегченного типа:

$$IRI_t = IRI_0 \cdot \left\{1 + \left[(3{,}523 \cdot 10^{-5} \times E_{min}^2 - 0{,}0099E_{min} + 0{,}7031) + (-2{,}665 \cdot 10^{-5} \cdot E_{min}^2 + 0{,}0045E_{min} + 0{,}0063) \cdot k_a \cdot n_p \cdot N_1 \frac{q^t - 1}{q - 1}\right]\right\}; \quad \textbf{(4)}$$

– на дорожных одеждах капитального типа:

$$IRI_t = IRI_0 \cdot \left\{1 + \left[(7{,}088 \cdot 10^{-6} \times E_{min}^2 - 0{,}0049E_{min} + 0{,}815) + (0{,}0394 - 0{,}000123E_{min}) \cdot k_a \cdot n_p \cdot N_1 \frac{q^t - 1}{q - 1}\right]\right\}, \quad \textbf{(5)}$$

здесь E_{min} определяется по формуле:

$$E_{min} = \bar{E}\ (1 - t_н\ C_E)\ , \quad \textbf{(6)}$$

где

IRI_0 и IRI_t – международный индекс ровности дорожных покрытий в начальный год и прогнозируемый год *t*, м/км;

E_{min} – минимальный с заданной надежностью модуль упругости дорожной одежды, МПа;

$\bar{E}$ – математическое ожидание модуля упругости дорожной одежды, МПа;

$t_н$ – коэффициент нормированного отклонения (для дорожных одежд облегченного типа $t_н = 1{,}06$, для капитального типа $t_н = 1{,}71$);

C_E – коэффициент вариации модуля упругости;

n_p – количество дней в году (365 дней);

N_1 – исходная интенсивность движения в первый год, авт./сут.;

q – коэффициент изменения интенсивности движения транспорта;

k_a – коэффициент, учитывающий переход единицы измерения на млн. авт., $k_a = 1 \cdot 10^{-6}$.

Величина $Э_{сод}(t)$ определялась по следующей обновленной формуле:

$$Э_{сод}(t) = \left\{a_z + b_z \left[exp\left(\frac{lnIRI(t) - 0{,}8253)}{0{,}7937} + 3{,}1343\right)\right]\right\} \times k_п\ . \quad \textbf{(7)}$$

Значения параметров уравнения **(7)** представлены в **табл. 1**. Там же представлены диапазоны возможной ровности дорожных покрытий в период эксплуатации. По данным диапазонам вычислена средняя ровность за период службы дорожного покрытия по шкале *IRI* (**табл. 1**).

Таблица 1

Значения параметров уравнения (7)

Категория дороги	*Вид покрытия*	*Параметры*		*Ровность IRI, м/км*		*Затраты $Э_{сод}$, тыс. руб.*		*Значение $k_п$ для 2007 г.*
		a_z	*b_z*	*Диапазон*	*Ср.*	*2001 г.*	*2007 г.*	
I	Капит.	223,2	1,548	3,0-3,8	3,4	-	1441	5004,4
II	Капит.	223,2	1,548	3,0-3,8	3,4	11,3	890	3156,6
III	Капит.	237,8	0,629	3,0-4,1	3,5	10,5	792	3006,2
III	Облег.	197,4	0,293	4,2-4,8	4,5	8,5	792	3719,5
IV	Облег.	179,4	0,324	4,6-5,0	4,8	7,9	730	3679,7
V	Облег.	179,4	0,324	4,6-5,0	4,8	-	695	3503,2

Примечание: *1. Принятые сокращения и обозначения:*
Капит. – капитальный; Облег. – облегченный; Ср. – среднее значение ровности; $Э_{сод}$ – затраты на содержание покрытия.

Базовым периодом для определения средств на ремонты и содержание дорог является 2007 г. Затраты на содержание дорожных покрытий определялись по формуле **[8]:**

$$Э_{сод} = Н \times К_{деф} \times К_{кат} \quad , \qquad \textbf{(8)}$$

где

Н – установленный норматив денежных затрат на содержание автомобильных дорог федерального значения V категорий (Н = 695 тыс. руб./км в ценах 2007 г.);

$К_{деф}$ – индекс-дефлятор инвестиций в основной капитал или индекс потребительских цен в части содержания автомобильных дорог федерального значения на год планирования;

$К_{кат}$ – коэффициент, учитывающий дифференциацию стоимости работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог федерального значения по существующим категориям.

Затраты на подготовку дорожного покрытия к капитальному ремонту $Э_в$ можно определить исходя из конкретного вида дорожно-ремонтных работ и показания ровности к концу срока службы дорожной одежды. В этом случае ровность существующего покрытия должна

удовлетворять требованиям, предъявляемым к конструктивным слоям основания.

Таким образом, вышеизложенная обновленная и обоснованная экономико-математическая модель оптимизации требований к ровности дорожных покрытий представлена функционалом суммарных дисконтированных затрат и расчетных формул суммы всех видов расходов в зависимости от транспортно-эксплуатационного состояния дороги по ровности дорожного покрытия с математическим описанием изменения ее во времени.

Основными в экономико-математической модели являются уравнения **(4)** и **(5)**, описывающие изменение ровности дорожного покрытия по шкале *IRI* в период эксплуатации.

Разработанная экономико-математическая модель отличается от ранее существующих обновленными уравнениями связи экономических параметров с международным индексом ровности *IRI* с выходом на обеспечиваемую скорость движения транспортного потока и транспортные расходы.

Для выполнения оптимизационных расчетов в соответствии с экономико-математической моделью были выбраны и систематизированы исходные данные, представленные в **табл. 2**. При подготовке исходных данных назначалась интенсивность движения для каждого этапа расчетов (10 этапов – для капитальных типов дорожных одежд, 6 этапов – для облегченных типов).

Срок суммирования дисконтированных затрат в соответствии с экономико-математической моделью был назначен исходя из периода рассмотрения срока службы дорожного покрытия от момента сдачи дороги в эксплуатацию после строительства до последующего капитального ремонта, которым, как правило, предусмотрено усиление дорожной одежды, т.е. переход в новое качественное состояние с новыми количественными характеристиками. Таким образом, задача обоснования требований к ровности дорожных покрытий рассматривается за межремонтный период службы дорожной одежды.

Нормативным документом **[6]** межремонтный срок службы дорожной одежды капитального типа определен в диапазоне от 11 до 19 лет для условий II-III дорожно-климатической зоны. Для усовершенствованных облегченных одежд он составляет 8-14 лет. Наиболее часто задаваемые межремонтные сроки на стадии проектирования и расчета нежестких дорожных одежд:

- 18 лет – для капитальных одежд;
- 12-14 лет – для облегченных одежд.

Таким образом, данные межремонтные сроки службы приняты для суммирования дисконтированных затрат при реализации экономико-математической модели.

Таблица 2

Исходные данные для технико-экономического обоснования требований к ровности дорожных покрытий в период эксплуатации

№ п/п	Интенсивность движения, авт./сут.		Минимальный требуемый модуль упругости, МПа	Общий модуль упругости, МПа	Минимальный модуль упругости, МПа	Ровность в первый год службы, IRI_c
	На 1-й год службы, N_1	Перспективная N_n				
1. Для покрытий на дорожных одеждах капитального типа						
1	513	1000	200	210	174	2,6
2	1027	2000	200	220	182	2,2
3	1540	3000	200	230	191	2,2
4	2053	4000	220	240	199	2,2
5	2567	5000	220	250	207	2,2
6	3080	6000	220	260	216	2,2
7	3594	7000	230	270	223	2,2
8	4107	8000	230	285	236	2,2
9	4620	9000	230	300	249	2,2
10	5134	10000	245	320	265	2,2
2. Для покрытий на дорожных одеждах облегченного типа						
1	65	100	100	110	83	2,6
2	130	200	100	110	83	2,6
3	325	500	120	130	98	2,6
4	650	1000	150	160	121	2,6
5	1300	2000	180	200	151	2,2
6	1950	3000	190	210	159	2,2

Согласно **[3]**, капитальные дорожные одежды устраивают на дорогах I-IV категорий, облегченные – на дорогах III-V категорий. Интенсивность движения на перспективу определяет категорию проектируемой автомобильной дороги **[9]**:

- V категория – до 100 авт./сут.;
- IV категория – от 100 до 1000 авт./сут.;
- III категория – 1000 до 3000 авт./сут.;
- II категория – от 3000 до 7000 авт./сут.;
- I категория – свыше 7000 авт./сут.

В расчетах принято, что представленные значения перспективной интенсивности движения транспорта характеризуют техническую категорию дороги в пределах принятого межремонтного срока службы дорожной одежды (18 и 14 лет) с ежегодным ростом первоначальной интенсивности в размере 4-6%.

Общий модуль упругости нежесткой дорожной одежды, согласно **[10]**, определяется как произведение требуемого модуля упругости (минимального) на коэффициент запаса прочности. Минимальные значения требуемых модулей упругости *Етр* находятся в следующих диапазонах:

– для *капитальных одежд*:

$$E_{тр} = 200 – 230 \text{ МПа} \;;$$

– для *облегченных одежд*:

$$E_{тр} = 150 – 210 \text{ МПа} \;.$$

Коэффициенты прочности *Кпр* при соответствующих уровнях надежности укладываются в следующие пределы:

– для *капитальных одежд* при уровнях надежности 0,90-0,95:

$$K_{пр} = 1{,}06 – 1{,}3 \;;$$

– для *облегченных* одежд при уровнях надежности 0,85-0,90:

$$K_{пр} = 1{,}06 – 1{,}1 \;.$$

С учетом вышеизложенного в **табл. 2** представлены заданные значения минимальных требуемых и общих модулей упругости.

Коэффициенты вариации модуля упругости на практике могут изменяться в широких пределах и достигать значений 0,35-0,40 и выше. Анализ экспериментальных данных ФАУ «РОСДОРНИИ» позволяет заключить, что наиболее реальными на практике значениями коэффициентов вариации модулей упругости являются:

– для *капитальных одежд*:

$$C_E = 0{,}17 \;;$$

– для *облегченных одежд*:

$$C_E = 0{,}23 \;.$$

С учетом принятых коэффициентов вариации по формуле **(6)** определены минимальные модули упругости при соответствующих уровнях надежности (**табл. 2**).

Средние значения коэффициентов роста интенсивности движения по экспериментальным данным ФАУ «РОСДОРНИИ» составляют:

– для *капитальных одежд*:

$$q = 1{,}06 \text{ (в диапазоне от 1,02 до 1,15)} \;;$$

– для *облегченных одежд*:

$$q = 1{,}04\text{-}1{,}06 \;.$$

Для каждого этапа реализации модели назначались 5 вариантов допуска по ровности ($IRI_{доп.}$ – предельно допустимое значение ровности, при котором возникает необходимость в ремонтных работах). При этом вариант с максимальным значением допуска соответствовал ровности покрытия на последний год службы дорожной одежды без проведения ремонтов покрытия за весь срок суммирования затрат, т.е. $\Sigma Э_р = 0$. Очевидно, что дальнейшее увеличение допуска ровности будет сопровождаться $C_S = const$ (см. модель **(1)**).

Минимальное значение допуска ровности не может быть меньше начального значения ровности после сдачи дороги в эксплуатацию, т.е. $IRI_{доп.} > IRI_{c,}$ где IRI_c – норма ровности после строительства. Начальная ровность IRI_c принята по существующим нормативным документам **[11,12]**:

- IRI_c = 2,2 м/км – для дорог I, II, III категорий;
- IRI_c = 2,6 м/км – для дорог IV, V категорий.

Очевидно, что чем $IRI_{доп.}$ будет ближе к IRI_c, тем больше и чаще будут назначаться ремонты по восстановлению ровности покрытия.

Оптимизационные расчеты выполнялись в следующей последовательности:

- расчет изменения ровности дорожного покрытия по установленным математическим моделям **(4)** и **(5)** с реализацией исходных данных, представленных в **табл. 2**;
- назначение вариантов задания допусков ровности (5 вариантов для каждого этапа), при достижении которых на основе абстрагирования назначается ремонт дорожного покрытия с улучшением ровности до первоначальных требований;
- расчет суммарных дисконтированных транспортных расходов по вариантам изменения ровности дорожных покрытий за срок службы дорожной одежды (с учетом улучшения ровности за счет ремонта в определенный год его назначения);
- расчет суммы затрат на содержание дорожного покрытия за срок службы дорожной одежды;
- расчет суммы затрат на ремонт дорожного покрытия по восстановлению ровности;
- расчет суммы затрат на подготовку дорожного покрытия к капитальному ремонту;
- определение суммарных дисконтированных затрат по вариантам задания допуска по ровности;
- минимизация функционала суммарных дисконтированных затрат и определение оптимального значения допустимой ровности по вариантам, обозначенным исходными данными.

Результаты расчета составляющих экономико-математической модели по этапам и вариантам задания допустимой ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах капитального типа, в том числе суммарные дисконтированные затраты, представлены в **табл. 3**.

По результатам расчетов по *этапам 1-10* были построены графики изменения дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах капитального типа. На **рис. 1-5** представлены примеры этих графиков. Каждым графиком наглядно иллюстрируется изменение дисконтированных затрат при варьировании допустимой ровностью дорожного покрытия. Минимизация функционала дисконтированных затрат имеет определенный интервал, в пределах которого они имеют близкие значения – в пределах отклонений до 0,5%. То есть оптимальный допуск ровности характеризуется не одним экстремальным значением, а определенным рядом близких значений в некотором интервале. Например, на **рис. 2** этот интервал составляет 4,1-4,5 м/км при среднем значении 4,3 м/км. По результатам этих интервалов построен квазиоптимальный коридор допуска ровности дорожных покрытий, который представлен на **рис. 6**, как функция интенсивности движения транспорта и вместе с ней технических категорий дорог.

Таблица 3

Результаты расчета составляющих экономико-математической модели по этапам и вариантам задания допустимой ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах капитального типа

Варианты задания допустимой ровности, $IRI_{доп.,\ м/км}$	*Составляющие экономико-математической модели, руб.*				*Суммарные дисконтированные затраты, руб.*
	Сумма транспортных расходов	*Сумма расходов на ремонты по восстановлению ровности*	*Сумма расходов на содержание*	*Затраты на подготовку к капитальному ремонту*	
Этап 1					
5,0	17 569 621	0	7 405 099	358 046	25 512 766
4,7	16 956 952	1 185 719	7 332 675	0	25 475 346
4,2	16 752 342	1 367 689	7 100 266	538 046	25 758 343
3,8	16 737 409	1 722 889	7 047 747	538 046	26 046 091
3,2	16 713 527	4 728 688	6 995 242	0	28 437 457
Этап 2					
4,4	33 776 229	0	7 911 020	538 046	42 225 295
4,2	33 434 914	1 071 338	7 718 141	-	42 224 393
3,7	33 377 388	1 349 573	7 626 962	-	42 353 923

Варианты задания допустимой ровности, $IRI_{доп.,\ м/км}$	Составляющие экономико-математической модели, руб.				Суммарные дисконтированные затраты, руб.
	Сумма транспортных расходов	Сумма расходов на ремонты по восстановлению ровности	Сумма расходов на содержание	Затраты на подготовку к капитальному ремонту	
3,3	33 347 641	1 700 068	7 532 639	538 046	43 118 394
2,8	33 315 229	3 770 452	7 438 304	-	44 523 985
Этап 3					
4,5	50 595 987	0	7 940 836	538 046	59 074 869
4,1	50 179 995	1 157 044	7 729 880	-	59 066 917
3,6	50 093 655	1 457 537	7 618 925	-	59 170 117
3,2	50 049 010	2 828 053	7 507 970	0	60 385 033
2,7	50 000 365	4 839 499	7 397 015	-	62 236 879
Этап 4					
4,5	67 818 113	0	9 184 236	538 046	77 540 395
4,2	67 407 470	1 204 593	8 759 097	-	77 371 160
3,7	66 801 079	1 517 436	8 173 999	538 046	77 030 560
3,1	66 759 869	3 179 813	7 888 892	-	77 828 574
2,7	66 692 259	6 704 242	7 603 683	-	81 000 184
Этап 5					
4,7	84 445 833	0	8 997 833	538 046	93 981 712
4,2	83 967 474	1 204 593	8 412 189	-	93 584 256
3,7	83 534 433	1 517 436	8 046 748	538 046	93 636 663
3,2	83 482 900	2 944 274	7 680 693	538 046	94 645 913
2,8	83 430 355	4 958 150	7 314 860	-	95 703 365
Этап 6					
4,8	100 942 483	0	9 084 611	538 046	110 565 140
4,2	100 562 400	1 204 593	8 431 536	-	110 198 529
3,6	100 248 300	1 517 436	7 878 362	538 046	110 182 144
3,2	100 208 951	2 944 274	7 425 187	-	110 578 412
2,8	100 119 900	4 958 150	6 971 913	-	112 049 963
Этап 7					
4,8	117 485 931	0	8 871 321	538 046	126 895 298
4,3	117 187 930	1 204 593	8 325 649	-	126 718 172
3,6	117 002 521	1 517 436	7 829 888	538 046	126 887 891
3,1	116 939 226	2 944 274	7 334 105	-	127 217 605
2,8	116 817 149	4 958 150	6 838 233	-	128 613 532
Этап 8					
4,7	134 124 777	0	13 879 799	1 076 092	149 080 668
4,2	133 901 928	2 306 163	12 999 363	-	149 207 454
3,6	133 692 084	2 905 092	12 119 087	-	148 716 263
3,2	133 489 927	3 659 568	11 238 493	1 076 092	149 464 080
2,7	133 478 204	9 492 247	10 358 058	-	153 328 509
Этап 9					
4,6	150 906 917	0	13 822 244	1 076 092	165 805 253
4,2	150 656 184	2 306 163	12 926 522	-	165 888 869
3,5	150 719 100	2 905 092	12 230 630	-	165 854 822

Варианты задания допустимой ровности, $IRI_{доп.,\ м/км}$	Составляющие экономико-математической модели, руб.				Суммарные дисконтированные затраты, руб.
	Сумма транспортных расходов	Сумма расходов на ремонты по восстановлению ровности	Сумма расходов на содержание	Затраты на подготовку к капитальному ремонту	
3,2	150 203 633	5 636 736	11 134 743	1 076 092	168 050 171
2,7	150 202 600	9 636 736	10 238 699	-	170 078 035
Этап 10					
4,4	167 749 288	0	13 708 131	1 076 092	182 533 511
3,9	167 470 571	2 306 163	12 801 132	-	182 577 866
3,5	167 568 121	2 985 092	11 993 818	-	182 547 031
3,0	166 955 283	5 636 736	10 986 663	1 076 092	184 654 774
2,6	166 940 622	9 636 736	10 079 507	-	186 656 865

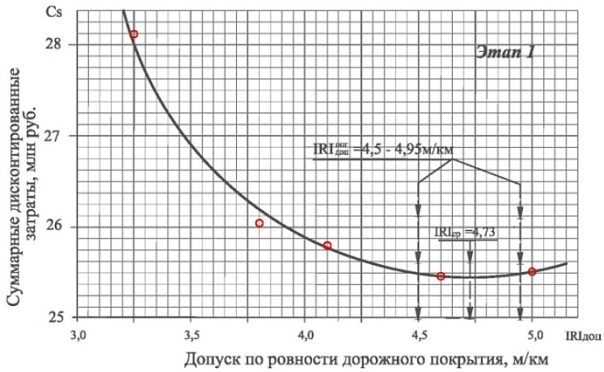


Рис. 1. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах капитального типа: этапы 1, 2 (табл. 3)

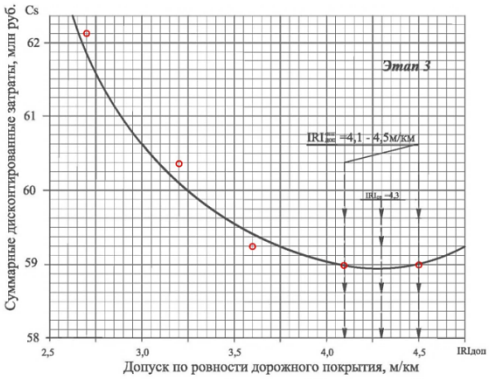


Рис. 2. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах капитального типа: этап 3 (табл. 3)

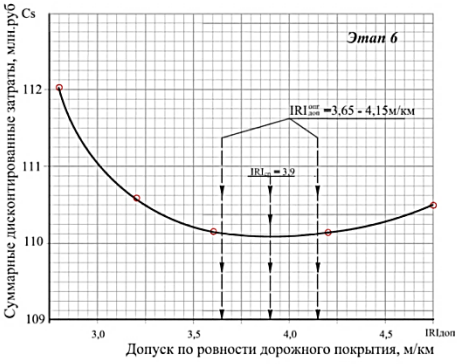


Рис. 3. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах капитального типа: этап 5, 6 (табл. 3)

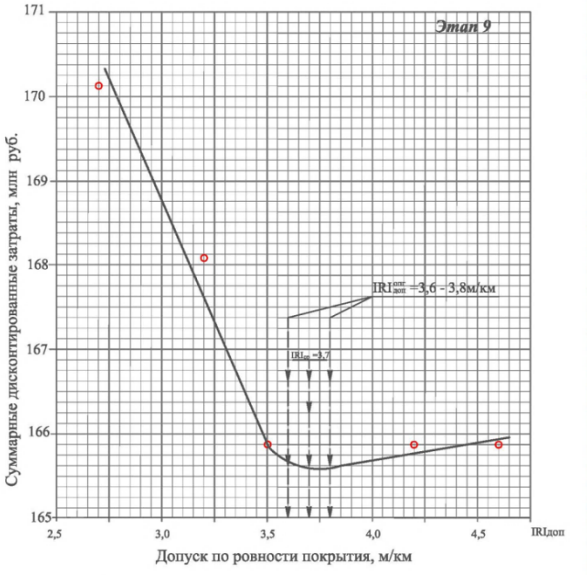


Рис. 4. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах капитального типа: этап 9 (табл. 3)

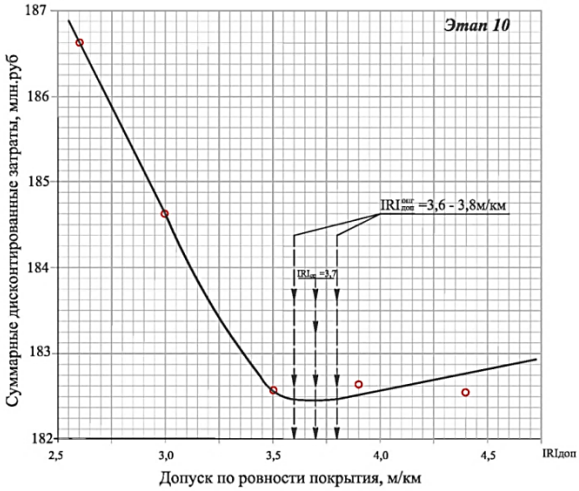
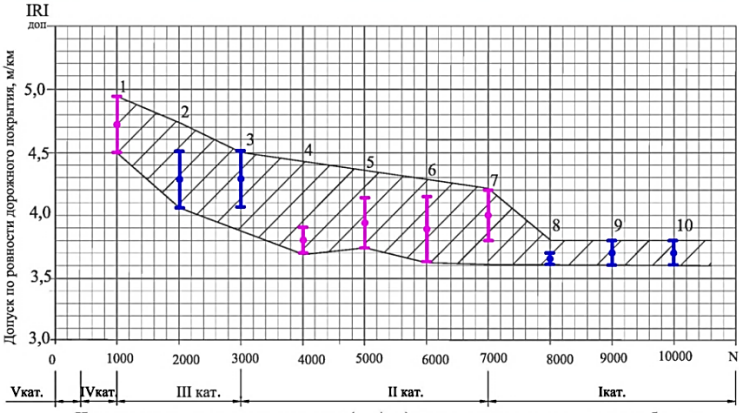


Рис. 5. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах капитального типа: этап 10 (табл. 3)



Интенсивность движения транспорта, N, авт./сут.;
техническая категория автомобильных дорог, кат.

Рис. 6. Квазиоптимальный коридор оптимальных значений допуска ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах капитального типа.
Цифры – номера этапов оптимизационных расчетов (табл. 3)

Квазиоптимальный коридор имеет верхнюю и нижнюю границы допуска ровности. Норматив требований к ровности может быть принят в пределах этого квазиоптимального коридора. Например, для дороги I технической категории норма ровности может быть принята от 3,6 до 3,8 м/км, а для IV категории – от 4,5 до 4,95 м/км.

Очевидно, что в полученном квазиоптимальном коридоре следует принять в качестве норматива верхнюю границу коридора. Нижняя граница коридора соответствует более высоким требованиям при практически тех же дисконтированных затратах. Поэтому ужесточать требования к ровности в период эксплуатации по нижней границе квазиоптимального коридора не имеет смысла. Это может обсуждаться и анализироваться в дальнейшем при совершенствовании технологий строительства и ремонта дорог, применения новых материалов, изменения ценовой политики и т.д.

В **табл. 4** представлена сводная информация по результатам оптимизационных расчетов, где приводятся границы квазиоптимального коридора и средние значения в пределах технических категорий дорог. Например, для дороги II технической категории допуск по ровности в квазиоптимальном коридоре соответствует: min – 3,65, max – 4,20 и среднее – 3,8-4,0 м/км. Принятым значением допустимой ровности дорожного покрытия является максимальное значение – 4,2 м/км. Тот же подход выполнен для дорог III, IV категорий. Для I технической категории при самом узком квазиоптимальном коридоре от 3,6 до 3,8 м/км принято среднее значение – 3,7 м/км (**табл. 4**).

Таблица 4

Сводная информация по результатам оптимизационных расчетов обоснования требований к ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах капитального типа

Техническая категория дороги, кат.	*Интенсивность движения на перспективу. $N_п$, авт./сут.*	*Этап выполненных расчетов*	*Значения квазиоптимального коридора допустимой ровности, $IRI_{доп.}$, м/км*				*Принятая норма ровности $IRI_{доп.}$, м/км*	*Примечание по принятым значениям*
			Границы коридора	*Среднее значение*	*Экстремальные значения ряда в пределах категории дороги*			
					min	*max*		
IV	1000	1	4,5-4,95	4,75	4,5	4,95	5,0	max
III	2000	2	4,05-4,35	4,20	4,05	4,50	4,5	max
	3000	3	4,10-4,50	4,30				
II	4000	4	3,70-3,90	3,80	3,65	4,20	4,2	max
	5000	5	3,75-4,15	3,95				
	6000	6	3,65-4,15	3,90				
	7000	7	3,80-4,20	4,00				
I	8000	8	3,60-3,80	3,70	3,60	3,80	3,7	среднее
	90000	9	3,60-3,80	3,70				
	10000	10	3,60-3,80	3,70				

Применительно к дорожным покрытиям на дорожных одеждах облегченного типа в **табл. 5** представлены составляющие экономико-математической модели:

- сумма транспортных дисконтированных расходов, полученных с учетом дисконтирования за период 14 лет;
- дисконтированные затраты на выполнение ремонтов по восстановлению ровности дорожных покрытий;
- суммарные дисконтированные расходы на содержание дорожного покрытия;
- затраты на подготовку к капитальному ремонту с учетом их отдаленности;
- суммарные дисконтированные затраты за период 14 лет.

Таблица 5

Результаты расчета составляющих экономико-математической модели по этапам и вариантам задания допустимой ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах облегченного типа

Варианты задания доп. ровности, $IRI_{доп.}$, м/км	Составляющие экономико-математической модели, руб.				Суммарные дисконтированные затраты, руб.
	Сумма транспортных расходов	Сумма на ремонты по восстановлению ровности	Сумма расходов на содержание	Затраты на подготовку к капитальному ремонту	
Этап 1					
6,0	1 641 075	0	5 600 546	369 765	7 611 386
5,5	1 641 075	0	5 600 546	369 765	7 611 386
5,0	1 641 075	0	5 600 546	369 765	7 611 386
4,6	1 639 961	999 417	5 587 021	-	8 226 399
3,8	1 637 590	1 258 973	5 533 884	369 765	8 800 212
3,6	1 636 672	1 468 463	5 507 927	369 765	8 982 827
3,2	1 635 737	2 792 181	5 495 108	-	9 923 026
Этап 2					
5,3	3 915 267	0	6 097 020	506 578	10 518 865
5,0	3 262 701	1 367 689	5 892 715	-	10 513 105
4,3	3 258 635	1 595 269	5 812 695	506 578	11 173 177
3,9	3 256 034	1 860 719	5 799 007	506 578	11 422 338
3,5	3 254 504	3 436 718	5 785 430	-	12 476 652
Этап 3					
6,3	8 687 833	0	6 369 944	506 578	15 564 355
5,7	8 178 216	1 367 689	5 911 420	-	15 457 325
5,0	8 163 909	1 595 269	5 854 401	506 578	16 120 157
4,3	8 153 480	1 860 719	5 812 695	506 578	16 333 472
3,7	8 145 805	3 538 027	5 785 430	-	17 409 262
Этап 4					
7,3	16 219 017	0	6 569 869	506 578	23 295 464
6,1	15 299 987	1 477 103	5 995 915	506 578	23 279 583
5,1	15 135 094	1 722 889	5 854 401	506 578	23 218 962
4,3	15 115 065	2 009 574	5 826 492	506 578	23 457 709
3,5	15 093 432	3 939 232	5 758 618	506 578	25 297 867
Этап 5					
6,1	33 207 836	0	6 897 262	539 857	40 644 955
5,5	32 569 092	1 457 537	6 444 787	-	40 471 416
4,5	32 509 187	1 700 068	6 381 256	-	40 590 511

Варианты задания доп. ровности, $IRI_{доп.}$, м/км	Составляющие экономико-математической модели, руб.				Суммарные дисконтированные затраты, руб.
	Сумма транспортных расходов	Сумма на ремонты по восстановлению ровности	Сумма расходов на содержание	Затраты на подготовку к капитальному ремонту	
3,7	32 474 287	1 982 956	6 332 243	539 857	41 329 343
3,2	32 446 580	3 770 452	6 320 262	-	42 607 294
Этап 6					
6,0	49 495 023	0	6 897 262	539 857	56 932 142
5,4	48 838 888	1 457 537	6 444 787	-	56 741 212
4,5	48 755 078	1 700 068	6 381 256	-	56 836 402
3,7	48 703 419	1 989 956	6 332 243	539 857	57 565 475
3,2	48 666 066	3 770 452	6 320 262	-	58 756 780

Все составляющие экономико-математической модели определялись по аналогии с методическими положениями, изложенными выше. Уточнены затраты на подготовку к капитальному ремонту усовершенствованного покрытия в процентной доли от ремонта покрытия – 40% с учетом затрат по категориям дороги, которые с учетом отдаленности равны:

- для V категории: 369 – 765 руб.;
- для IV категории: 506– 578 руб.;
- для III категории: 539 - 857 руб.

На **рис. 7-10** в качестве примера представлены кривые изменения дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах облегченного типа по этапам вычисления, согласно **табл. 5**.

Заслуживает особого внимания *1 этап* расчетов, согласно которым построенная кривая оптимизации (**рис. 7**) не имеет экстремальных значений. При такой малой интенсивности движения (до 100 авт./сут., **табл. 2**) транспортные расходы настолько малы, что не сопоставимы с затратами на содержание дороги. То есть в этом случае не выгодно выполнять ремонтные работы по восстановлению ровности и нормировать ровность дорожного покрытия, достаточно осуществление мероприятий по содержанию дороги.

На других этапах расчетов минимизация функционала дисконтированных затрат, также как и для капитальных одежд, имеет определенный интервал оптимальных значений, которые находятся в пределах

0,5% отклонений. То есть оптимальный допуск ровности характеризуется не одним экстремальным значением, а определенным интервалом значений. Например, на **рис. 10** этот интервал составляет 4,9-5,3 м/км при среднем значении 5,1 м/км. По результатам этих интервалов построен квазиоптимальный коридор допуска ровности дорожных покрытий, который представлен на **рис. 11** как функция интенсивности движения транспорта и вместе с ней технических категорий дорог.

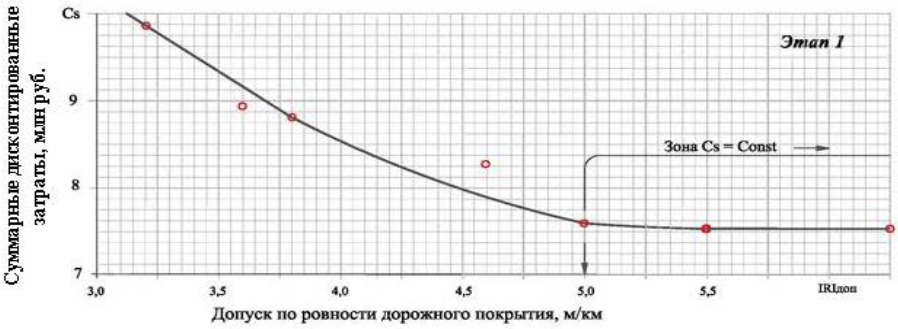


Рис. 7. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах облегченного типа: этап 1 (табл. 5)

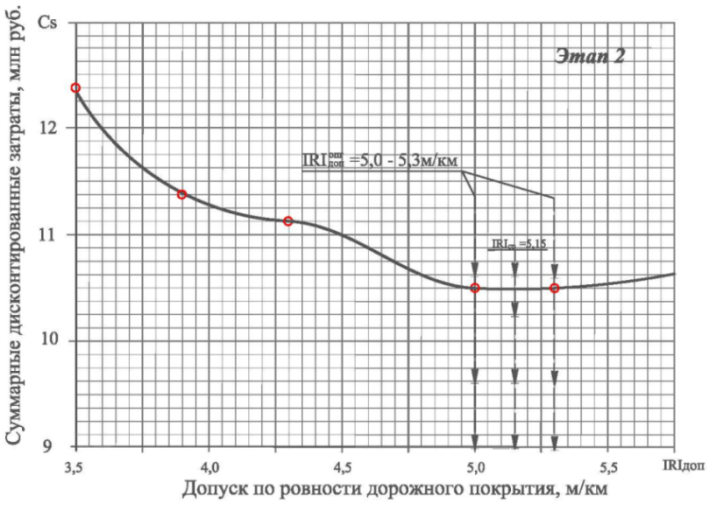


Рис. 8. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах облегченного типа: этап 2 (табл. 5)

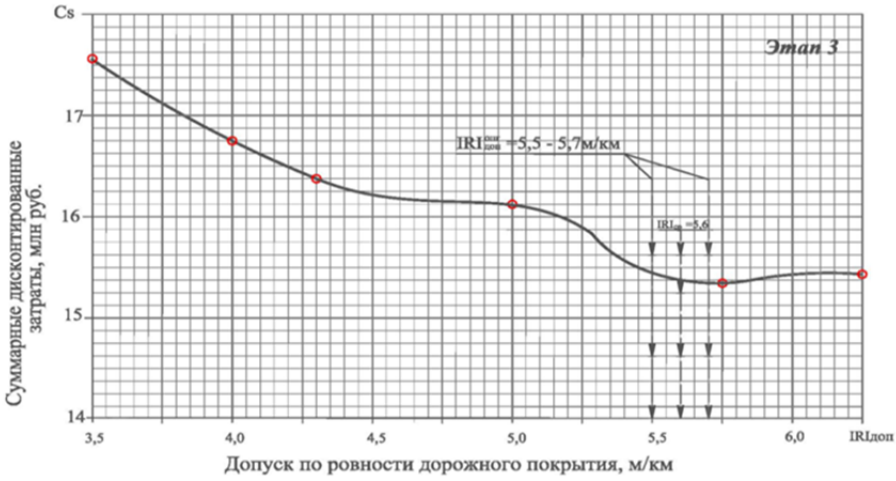


Рис. 9. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах облегченного типа: этап 5 (табл. 5)

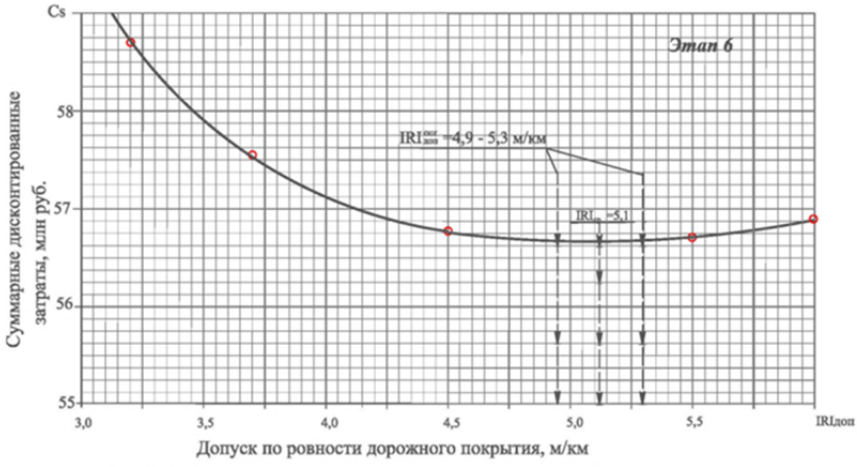


Рис. 10. Изменение дисконтированных затрат в зависимости от заданного допуска ровности дорожного покрытия на дорожных одеждах облегченного типа: этап 6 (табл. 5)

Квазиоптимальный коридор имеет верхнюю и нижнюю границы допуска ровности. Норматив требований к ровности может быть принят в пределах этого квазиоптимального коридора. Например, для III технической категории норма ровности может быть принята от 4,9 до 5,3 м/км, а для IV категории – от 5,0 до 5,7 м/км.

Очевидно, что в полученном квазиоптимальном коридоре следует принять в качестве норматива верхнюю границу коридора. Нижняя граница коридора соответствует более высоким требованиям при практически тех же дисконтированных затратах. Поэтому ужесточать требования к ровности в период эксплуатации по нижней границе квазиоптимального коридора не имеет смысла.

В **табл. 6** представлена сводная информация по результатам оптимизационных расчетов, где приводятся границы квазиоптимального коридора, а также средние значения и экстремальные значения в пределах технических категорий дорог. Например, для дороги III технической категории допуск по ровности в квазиоптимальном коридоре соответствует: min – 4,9; max – 5,3. Принятым значением допустимой ровности дорожного покрытия является максимальное значение – 5,3 м/км.

Для дороги IV технической категории квазиоптимальный коридор составляет от 5,0 до 5,7 м/км. Принято максимальное значение – 5,7 м/км (**табл. 6**).

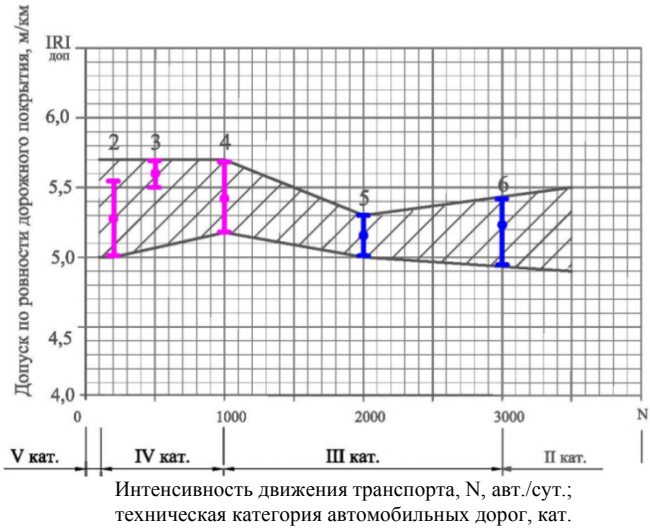


Рис. 11. Квазиоптимальный коридор оптимальных значений допуска ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах облегченного типа.
Цифры – номера этапов оптимизационных расчетов (табл. 5)

Таблица 6

Сводная информация по результатам оптимизационных расчетов обоснования требований к ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах облегченного типа

Техн. категории дороги, кат.	*Интенсивность движения на перспективу $N_п$, авт./сут.*	*Этапы выполненных расчетов*	*Значения квазиоптимального коридора допустимой ровности, $IRI_{опт.}^{доп.}$, м/км*				*Принятая норма ровности $IRI_{доп.}$, м/км*	*Примечания. Принятое значение, max*
			Границы коридора	*Среднее значение*	*Экстремальные значения ряда в пределах категории дороги*			
					min	*max*		
V	100	1	-	-	-	-	6,1	-
IV	200	2	5,0-5,3	5,15	5,0	5,7	5,7	max
	500	3	5,5-5,7	5,6				
	1000	4	5,2-5,7	5,45				
III	2000	5	5,0-5,25	5,13	4,9	5,3	5,3	max
	3000	6	4,9-5,3	5,1				

Как отмечено выше, для дорог V технической категории норматив ровности не может быть установлен по критерию дисконтированных затрат (для усовершенствованного облегченного покрытия). Поэтому норма ровности для V категории дорог принята на основе дискретного увеличения международного индекса ровности по категориям дорог, т.е.:

$$IRI_{доп.\ V} = IRI_{доп.\ IV} \cdot \frac{IRI_{доп.\ IV}}{IRI_{доп.\ III}} = 5,7 \cdot \frac{5,7}{5,3} = 6,1 \text{ м/км } \textbf{(табл. 6)} \ ,$$

где

$IRI_{доп.\ V}$, $IRI_{доп.\ IV}$, $IRI_{доп.\ III}$ – нормативы ровности для дорог V, IV, III категорий соответственно.

Таким образом, реализация разработанной экономико-математической модели позволила установить впервые обоснованные нормы ровности дорожных покрытий в период их эксплуатации на первом этапе службы по международному индексу ровности *IRI*. Сравнение их с аналогичными нормативами стран таможенного союза, в частности с казахстанскими и белорусскими (**табл. 7**), позволяет сделать вывод,

что они по требованиям несколько ниже первых и выше вторых. Следует отметить, что казахстанские требования вписываются в установленный квазиоптимальный коридор оптимальных значений.

В соответствии с ранее существующей дискретизацией дифференцированных нормативов ровности (например, **[13]**), в **табл. 7** представлены обновленные нормативы, которые вошли в разработанный межгосударственный стандарт по диагностике и паспортизации автомобильных дорог **[14]**.

Таблица 7

Требования к ровности дорожных покрытий в период эксплуатации по шкале IRI. Дифференцированная оценка ровности

Техническая категория автомобильной дороги, кат.	*Оценка ровности по международному индексу ровности, IRI, м/км*					
	Отлично	*Хорошо*	*Удовлетворительно*	*Неудовлетворительно*		
				*Установлено**	*Казахстан*	*Республика Беларусь*
I. Усовершенствованные капитальные виды покрытий						
IA, IБ	До 2,6	Св. 2,6 до 3,1	Св. 3,1 до 3,7	Св. 3,7	Св. 3,4	Св. 4,5
IB, II	До 3,1	Св. 3,1 до 3,6	Св. 3,6 до 4,2	Св. 4,2	Св. 3,9	Св. 5,5
III	До 3,3	Св. 3,3 до 3,8	Св. 3,8 до 4,5	Св. 4,5	Св. 4,2	Св. 6,2
IV			До 5,0	Св. 5,0	Св. 4,7	Св. 6,7
II. Усовершенствованные облегченные виды покрытий						
III	До 3,8	Св. 3,8 до 4,4	Св. 4,4 до 5,3	Св. 5,3	Св.4,9	Св. 6,2
IV	До 3,9	Св. 3,9 до 4,6	Св. 4,6 до 5,7	Св. 5,7	Св. 5,1	Св. 6,7
V			До 6,1	Св. 6,1	Св. 5,6	Св. 7,9

***Примечание**: *В столбце «Установлено» приведены установленные и обоснованные нормативы ровности дорожных покрытий по результатам настоящих исследований (**табл. 4, 6**).*

Представленные в **[14]** требования к ровности дорожных покрытий были обсуждены на уровне стран Таможенного союза и согласованы ими. Стандарт утвержден Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации.

Дифференцированная шкала ровности дорожных покрытий в период эксплуатации может быть использована для назначения и пла-

нирования дорожно-ремонтных работ по восстановлению ровности дорожных покрытий на дорожных одеждах усовершенствованного типа.

ВЫВОДЫ

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В совершенствование ранее разработанных экономико-математических моделей оптимизации параметров автомобильных дорог выполнено обновление модели оптимизации норм ровности дорожных покрытий на стадии их эксплуатации, в том числе, усовершенствованы математические модели определения транспортных расходов в зависимости от скорости движения транспорта как функции состояния дорожного покрытия по ее ровности. Актуализированы математические модели определения затрат на содержание дорожного покрытия в зависимости от состояния дорожного покрытия по ровности (по международному индексу ровности *IRI*).
2. Для реализации разработанной экономико-математической модели использованы новые математические модели прогнозирования ровности дорожного покрытия по показателю *IRI*.
3. Впервые обоснованы и установлены нормы ровности дорожных покрытий в период эксплуатации по *IRI* с использованием разработанной экономико-математической модели, представляющей собой функционал дисконтированных затрат в зависимости от эксплуатационного состояния дорожного покрытия по ровности. Установленные нормы ровности с детализацией по составляющим экономико-математической модели обоснованы при анализе полученного квазиоптимального коридора с принятием значений по верхней границе допуска, что согласуется с критерием оптимальности. Такой подход к обоснованию нормативных значений ровности с использованием квазиоптимальных коридоров использован впервые при выполнении оптимизационных расчетов.
4. Результаты настоящих исследований использованы при разработке межгосударственного стандарта по паспортизации и диагностике автомобильных дорог **[11]**. Установленные нормы ровности в соответствии с этим документом будут использоваться в странах Таможенного союза, в том числе, в Республиках Кыргызстан и Армении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Могильный К.В. Международный индекс ровности дорожных покрытий и его использование в странах Таможенного союза / К.В. Могильный, Н.А. Лушников, О.А. Красиков // Дороги и мосты. – 2013. – Вып. 29/1. – С. 92-110.*
2. *Красиков О.А. О требованиях к ровности дорожных покрытий в период эксплуатации / О.А. Красиков, К.В. Могильный // Дороги и мосты. – 2014. – Вып. 31/1. – С. 122-136.*
3. *ГОСТ 33220-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию. – М.: Стандартинформ, 2016. – 10 с.*
4. *ВСН 24-88. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог / Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1989. – 198 с.*
5. *Пашкин В.К. Экономико-математическая модель стадийного строительства автомобильных дорог с учетом современных критериев. / В.К. Пашкин, О.А. Красиков, К.В. Могильный // Дороги и мосты. – 2013. – Вып. 30/2. – С. 11-30.*
6. *Красиков О.А. Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог / О.А. Красиков. – Алматы, 2004. – 263 с.*
7. *Красиков О.А. Новые математические модели прогнозирования ровности дородных покрытий / О.А. Красиков // Дороги и мосты. – 2016. – Вып. 35/1. – С. 138-160.*
8. *О нормативах денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения и правилах их расчета [Электронный ресурс]: постановление РФ от 23 авг. 2007 г. № 539 (с изм. от 15 мая 2010 г.). – Электрон. дан. – URL: http://base.garant.ru/12155337/ (дата обращения: 28.10.2016).*
9. *Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Техническая классификация. Межгосударственный технический комитет по делам стандартизации МТК-418 «Дорожное хозяйство». – М., 2015. – 9 с.*
10. *ОДН 2158.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М.: Транспорт, 2001. – 146 с.*
11. *СП 78.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Министерство регионального развития Российской Федерации. – Утв. 30.06.12 г., введ. в действие 01.07.13 г. – М., 2012. – 117 с.*
12. *СП 34.13330. 2012. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги / Министерство регионального развития Российской Федерации. – Москва, 2012. – 107 с.*

13. *ПР РК 218-03-02. Инструкция по оценке ровности дорожных покрытий толчкомером / Минтранском РК. – Алматы, 2003.*
14. *Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации. Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС). – М.: Стандартинформ, 2015.*

L I T E R A T U R A

1. *Mogil'nyj K.V. Mezhdunarodnyj indeks rovnosti dorozhnyh pokrytij i ego ispol'zovanie v stranah Tamozhennogo sojuza / K.V. Mogil'nyj, N.A. Lushnikov, O.A. Krasikov // Dorogi i mosty. – 2013. – Vyp. 29/1. – S. 92-110.*
2. *Krasikov O.A. O trebovanijah k rovnosti dorozhnyh pokrytij v period jekspluatacii / O.A. Krasikov, K.V. Mogil'nyj // Dorogi i mosty. – 2014. – Vyp. 31/1. – S. 122-136.*
3. *GOST 33220-2015. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Trebovanija k jekspluatacionnomu sostojaniju. – M.: Standartinform, 2016. – 10 s.*
4. *VSN 24-88. Tehnicheskie pravila remonta i soderzhanija avtomobil'nyh dorog / Minavtodor RSFSR. – M.: Transport, 1989. – 198 s.*
5. *Pashkin V.K. Jekonomiko-matematicheskaja model' stadijnogo stroitel'stva avtomobil'nyh dorog s uchetom sovremennyh kriteriev / V.K. Pashkin, O.A. Krasikov, K.V. Mogil'nyj // Dorogi i mosty. – 2013. – Vyp. 30/2. – S. 11-30.*
6. *Krasikov O.A. Monitoring i strategija remonta avtomobil'nyh dorog / O.A. Krasikov. – Almaty, 2004. – 263 s.*
7. *Krasikov O.A. Novye matematicheskie modeli prognozirovanija rovnosti dorodnyh pokrytij / O.A. Krasikov // Dorogi i mosty. – 2016. – Vyp. 35/1. – S. 138-160.*
8. *O normativah denezhnyh zatrat na soderzhanie i remont avtomobil'nyh dorog federal'nogo znachenija i pravilah ih raschjota [Jelektronnyj resurs]: postanovlenie RF ot 23 avg. 2007 g. # 539 (s izm. ot 15 maja 2010 g.). – Jelektron. dan. – URL: http://base.garant.ru/12155337/ (data obrashhenija: 28.10.2016).*
9. *Mezhgosudarstvennyj standart. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Tehnicheskaja klassifikacija. Mezhgosudarstvennyj tehnicheskij komitet po delam standartizacii MTK-418 «Dorozhnoe hozjajstvo». – M., 2015. – 9 s.*
10. *ODN 2158.046-01. Proektirovanie nezhjostkih dorozhnyh odezhd. – M.: Transport, 2001. – 146 s.*

11. *SP 78.13330.2012. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 3.06.03-85. Avtomobil'nye dorogi / Ministerstvo regional'nogo razvitija Rossijskoj Federacii. – Utv. 30.06.12 g., vved. v dejstvie 01.07.13 g. – M., 2012. – 117 s.*
12. *SP 34.13330. 2012. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.05.02-85*. Avtomobil'nye dorogi / Ministerstvo regional'nogo razvitija Rossijskoj Federacii. – Moskva, 2012. – 107 s.*
13. *PR RK 218-03-02. Instrukcija po ocenke rovnosti dorozhnyh pokrytij tolchkomerom / Mintranskom RK. – Almaty, 2003.*
14. *Mezhgosudarstvennyj standart. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Trebovanija k provedeniju diagnostiki i pasportizacii. Evrazijskij sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii (EASS). – M.: Standartinform, 2015.*

.....

JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR ROAD PAVEMENT EVENNESS DURING OPERATION

Doctor of Engineering ***O.A. Krasikov***
(FAI «ROSDORNII»)
Contact information: krasikov@rosdornii.ru

Based on existing methodical regulations improving a new economic and mathematical decision model of justification of requirements of road pavements evenness with regard to minimizing of functional representing cumulative discounted costs expressed by pavement condition function in accordance with international roughness index (IRI) is proposed.

New mathematical models for predicting IRI changes over time are used in the optimization model. The realization of the developed economic and mathematical model has been allowed justifying required IRI values of road pavements during their operation, and this has been carried out for the first time for Russian Federation road sector. In contrast to earlier performed optimization calculations, when justifying the requirements for road pavement evenness, quasioptimal corridors are used, analyzing which it is possible to substantiate the most rational values for evenness allowance. The usage of obtained results enables to enhance objectivity of road pavement evenness evaluation and confirm the necessity of performing preventive repairs.

Key words: *road pavements evenness, international roughness index (IRI), economic and mathematical model, total discounted costs, quasioptimal corridors of evenness allowance, requirements for evenness during operation.*

Рецензент: канд. техн. наук Н.А. Лушников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 18.07.2016 г.