



• © Н.В. Смирнова, канд. техн. наук, доцент (ХНАДУ)

## ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ПЕРИОДЫ СНИЖЕНИЯ РОВНОСТИ И СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

**Аннотация.** Предложена математическая модель движения транспортных потоков в периоды снижения ровности и сцепных свойств проезжей части на двухполосных дорогах. Приведены результаты моделирования при гололеде, снежном накате, мокром и грязном покрытии, неудовлетворительной, удовлетворительной и отличной ровности.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, транспортные потоки, режимы движения, интенсивность движения, сцепные свойства проезжей части, ровность.

**Анотація.** Запропоновано математичну модель руху транспортних потоків в періоди зниження рівності та зчпних властивостей проїзної частини на двосмугових дорогах. Приведені результати моделювання при ожеледиці, сніговому накаті, мокрому і брудному покритті, незадовільній, задовільній і відмінній рівності.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, транспортні потоки, режими руху, інтенсивність руху, зчпні властивості проїзної частини, рівність.

**Annotation.** A mathematical model of traffic flow during periods of roughness and adhesive properties declining on the carriageway of two-lane roads was provided. Simulation results in glaze condition, snowy coating, wet and muddy surfaces, unsatisfactory, satisfactory and excellent roughness are presented.

**Keywords:** road, traffic flow, driving modes, traffic density, coupling properties of carriageway, roughness.

### Введение

Для повышения достоверности обоснования оптимального варианта дороги при её проектировании или обоснования эксплуатационных мероприятий целесообразно оценивать характеристики режимов движения транспортных потоков в межремонтные периоды, на протяжении которых снижаются такие важные показатели транспортно-эксплуатационного состояния дороги, как ровность и сцепные свойства проезжей части.

### Основная часть

Ровность и сцепные свойства проезжей части восстанавливают во время текущих (средних) и капитальных ремонтов. Необходимость ремонта устанавливают по результатам проездов ходовой лаборатории с измерением коэффициентов сцепления и показаний толчкомера или, что в практике эксплуатационных организаций гораздо чаще – по экспертным оценкам, например, по разработанному в ХНАДУ (авторы Е.Д. Прусенко и В.Ф. Демишкан) методу анализа динамики

эксплуатационного состояния дорог. Метод базируется на шкале экспертных индексов (от 2 до 10), см. **табл. 1**, которая принята как базовая в “Методике определения объема финансирования строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог” (Министерство инфраструктуры Украины, Министерство финансов Украины, приказ 21.09.2012 № 573/1019). Этот метод использован здесь для прогнозирования изменения ровности проезжей части в межремонтные периоды.

Необходимость капитального или текущего ремонта устанавливается по предельным значениям индекса  $j$  эксплуатационного состояния дороги: если  $j > 6$ , ремонт не нужен, если  $j = 6$ , то необходим текущий (средний) ремонт, если  $j = \leq 4$ , то необходим капитальный ремонт.

Развитие динамики эксплуатационного состояния дороги показано на **рис. 1** ( $T_{cp}$  и  $T_{кр}$  – соответственно моменты необходимости текущего среднего или капитального ремонта). Модель на **рис. 1** подобна модели динамики эксплуатационного



Таблиця 1

Шкала оценки эксплуатационного состояния дороги (фрагмент)

Индекс	Оценка состояния дороги
8	Проезжая часть ровная, шероховатая, поперечный профиль не деформирован. Трещины и разрушения устранены при ямочном ремонте. Обочины укреплены. Уровень инженерного оборудования на 75 % отвечает нормативным требованиям.
7	Ровность проезжей части удовлетворительная. Поперечный профиль не деформирован. Поверхность покрытия изношена. На покрытии трещины и отдельные деформации. Инженерное оборудование на 60 % отвечает нормативным требованиям. Состояние искусственных сооружений удовлетворительно.
6	Поперечный профиль проезжей части практически не деформирован. Колейность до 15 мм. Покрытие изношено, шероховатость низкая. Относительная площадь разрушений до 1 %. Искусственные сооружения имеют отдельные дефекты, инженерное оборудование на 50 % отвечает нормативным требованиям.
5	Поперечный профиль проезжей части в отдельных местах деформирован. Отдельные просадки. Относительная площадь выбоин и других разрушений на проезжей части до 2 %. Инженерное оборудование на 35 % отвечает нормативным требованиям.
4	Поперечный профиль проезжей части во многих местах деформирован. Покрытие неровное. Частые просадки. Относительная площадь выбоин 3 %. Мосты и другие искусственные сооружения сильно изношены.
3	Поперечный профиль проезжей части на большом протяжении деформирован. Частые просадки. Относительная площадь выбоин до 4 %. Инженерное оборудование и искусственные сооружения в неудовлетворительном состоянии.

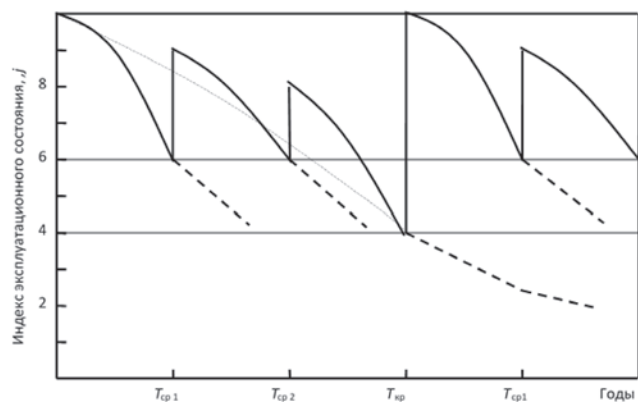


Рис. 1. Модель динамики эксплуатационного состояния дороги

состояния дороги по исследованиям AASHTO в модификации Б.С. Радовского [1].

Сплошными линиями показана динамика при своевременном финансировании дорожной отрасли. Тонкой штриховой линией показано снижение прочности одежды, а толстыми – снижение показателей эксплуатационного состояния (в первую очередь – ровности и сцепных свойств), которые определяют уровень скорости движения транспортных потоков. Предельные эксплуатационные состояния (необходимость в капиталь-

ном или текущем ремонте) показаны горизонтальными линиями с отметками индексов 4 и 6.

Индекс эксплуатационного состояния  $j_t$  в момент  $t$  предложено находить по зависимости, которая учитывает рост во времени явлений усталости дорожной конструкции с накоплением повреждений и деформаций:

$$j_t = j_n - j_k(e^{cy} - 1), \quad (1)$$

где  $j_n$  и  $j_k$  – соответственно начальный и конечный индексы эксплуатационного состояния;

$c$  – параметр роста во времени явлений усталости и накопления повреждений и деформаций от предыдущего ремонта до следующего;

$y$  – количество лет от предыдущего ремонта.

Параметр  $c$  найден из этой же зависимости подстановкой в (1) соответствующих значений  $j_n, j_t = j_k, y = T_p$ ; ( $T_p$  – межремонтный срок). Таким образом:

$$c = \frac{\ln(j_n / j_k)}{T_p}. \quad (2)$$

Например, согласно ВБН В.2.3-218-186 [2, табл. 3.5] для дороги третьей категории



с асфальтобетонным покрытием срок службы дорожной одежды  $T_{кр} = 12$  лет с текущим средним ремонтом через  $T_{ср} = 6$  лет. При первом текущем среднем ремонте, который следует после капитального через 6 лет,  $j_n = 10$ ,  $j_k = 6$ . По формуле (2)  $c = 0,0851$ , индексы  $j_i$  в конце каждого года принимают значения, приведенные в табл. 2.

**Таблица 2**

**Изменение индексов эксплуатационного состояния до текущего ремонта**

Годы	1	2	3	4	5	6
Индексы $j_i$	9,47	8,89	8,25	7,57	6,82	6,00

После текущего среднего ремонта  $j_n = 9$ ,  $j_k = 4$ . По формуле (2)  $c = 0,1352$ , индексы  $j_i$  в конце каждого года приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

**Изменение индексов эксплуатационного состояния после текущего ремонта**

Годы	7 (1)	8 (2)	3	4	5	6
Индексы $j_i$	8,41	7,75	7,00	6,12	5,12	3,97

Аналогично найдены значения показателей ровности  $S_i$  (см/км) по формуле:

$$S_i = S_n + S_k(1 - e^{cy}). \quad (3)$$

При этом в соответствии с ДСТУ 3587-97 [2, табл. 2] принято  $S_k = 150$  см/км,  $T = 6$  лет: до текущего среднего ремонта  $S_n = 50$  см/км,  $c = -0,1352$ , после ремонта  $S_n = 60$  см/км,  $c = -0,1527$ . Показатели ровности  $S_i$  в конце каждого года приведены в табл. 4 (в скобках – после ремонта).

При моделировании принята отличная и хорошая ровность при  $S_i$  от 50 см/км до 130 см/км, удовлетворительная при  $S_i$  от 140 см/км до 150 см/км, неудовлетворительная при  $S_i$  более 150 см/км. В межремонтный период ровность снижается весной и осенью и улучшается после текущего мелкого ремонта (ямочного).

В последующих примерах показаны результаты моделирования движения транспортных потоков в периоды снижения ровности и сцепных свойств проезжей части.

В примерах принято: 1) недостаточная оснащённость эксплуатационных организаций ресурсами для содержания дороги (менее 60 %); 2) в весенне-осенний периоды состояние проезжей части – мокрое грязное с коэффициентом сцепления  $\varphi = 0,3$ ; 3) в зимний период при гололеде  $\varphi = 0,1$ , 4) при снежном накате  $\varphi = 0,2$ .

При моделировании и при пониженных коэффициентах сцепления скорости ограничиваются [4]:

- на подъемах в связи с ограничением силы тяги пониженной силой сцепления шин ведущих колес автомобиля;
- на кривых в плане по критерию устойчивости автомобиля против бокового скольжения;
- на участках с недостаточной видимостью по условию остановки автомобиля перед препятствием.

При моделировании движения автомобиля в потоке принято, что его скорость не может быть более скорости свободного движения. Необходимы для моделирования зависимости приведены в монографии [4], в которой, в частности, показано, как при пониженных коэффициентах сцепления увеличивается величина динамического габарита (увеличивается зазор безопасности между автомобилями) и увеличивается путь и время обгона. Вследствие этого снижаются вероятности свободного движения, увеличивается время движения за более тихоходными автомобилями. В конечном итоге трансформируется функция распределения скорости в потоке [4] и снижаются скорости как отдельных автомобилей, так и всего потока.

В табл. 5 и на рис. 2 и рис. 3 показаны результаты моделирования движения транспортного потока ( $R$  и  $V_N$  – соответственно плотность потока и его средняя скорость,  $V_{85}$  – скорость 85 % обеспеченности) в периоды снижения сцепных свойств проезжей части при гололеде, снежном накате, мокром и грязном покрытии.

Средняя скорость потока даже такой небольшой интенсивности (300 авт/ч) в прямом направлении не поднимается выше 21–24 км/ч. Причина таких малых скоростей – в достаточно крутом подъеме в начале участка, на котором скорость потока не более 5–9 км/ч, и в недостаточной для обгона

**Таблица 4**

**Изменение показателей ровности  $S_i$  (см/км) до и после текущего ремонта**

Годы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$S_i$ , см/км	75	106	114	128	140	150 (60)	81	100	115	129	140	150 (50)



Таблиця 5

Основные показатели режимов движения  
при интенсивности 300 авт/ч и гололеде ( $\varphi = 0,1$ )

ПК	Прямо						Обратно					
	Возм, обгона	Режим потока	R, авт/км	$V_N$ , км/ч	Обгон, обг/ч	$V_{85}$ , км/ч	Возм, обгона	Режим потока	R, авт/км	$V_N$ , км/ч	Обгон, обг/ч	$V_{85}$ , км/ч
20	нет	2	28,6	5	0	13	нет	2	4,9	31	0	41
21	нет	2	28,7	5	0	13	нет	2	4,8	31	0	41
22	нет	2	28,3	5	0	13	да	1	4,9	30	13	41
23	нет	2	20,8	7	0	13	да	3	4,5	33	8	43
24	нет	2	20,8	7	0	13	нет	2	4,2	35	0	45
25	нет	2	20,8	7	0	13	нет	2	4,0	38	0	48
26	нет	2	20,8	7	0	13	нет	2	3,8	40	0	50
27	да	3	16,5	9	1	14	нет	2	3,7	41	0	51
28	да	3	14,2	11	2	14	нет	2	3,6	42	0	53
29	да	3	12,6	12	3	31	нет	2	3,8	39	0	48
30	да	3	10,5	14	5	39	нет	2	3,6	41	0	53
31	нет	2	10,3	15	0	41	нет	2	4,0	38	0	48
32	нет	2	10,4	14	0	40	нет	2	3,7	41	0	52
33	нет	2	10,5	14	0	40	да	1	3,6	41	12	52
34	нет	2	10,5	14	0	39	да	1	3,6	41	12	52
35	нет	2	10,6	14	0	39	да	1	3,6	41	12	52
36	нет	2	10,7	14	0	39	да	1	3,6	41	12	52
37	да	3	9,8	15	2	40	да	1	3,6	42	12	53
38	да	3	9,2	16	4	40	да	3	3,6	42	6	53
39	да	3	8,6	17	6	41	нет	2	3,5	43	0	54
40	да	3	8,2	18	8	41	нет	2	3,5	43	0	53
41	да	3	7,6	20	9	42	нет	2	3,5	43	0	55
42	да	3	7,3	21	10	42	нет	2	3,5	43	0	55
43	нет	2	6,9	22	0	45	нет	2	3,5	42	0	54
44	нет	2	6,7	23	0	47	да	1	3,6	41	11	52
45	нет	2	6,9	22	0	45	да	1	4,3	35	12	44
46	нет	2	6,7	22	0	46	да	1	4,3	34	12	44
47	нет	2	6,7	22	0	47	да	1	4,1	36	11	47
48	нет	2	6,8	22	0	46	да	3	4,0	37	3	48
49	нет	2	6,9	22	0	45	нет	2	3,8	39	0	50
50	нет	2	7,0	21	0	43	нет	2	3,7	41	0	52

видимости, вследствие чего в прямом направлении сформировался в основном переходной режим 3 движения без обгонов. Лишь на ПК 27 – ПК 30 и ПК 37 – ПК 42 видимость достаточна для обгона и на этих участках сформировался переходной режим 2 движения с обгонами. Максимальное количество обгонов не превышает 10 обгонов в час на ПК 42. Вследствие малых начальных скоростей на этих участках затягивается переход режима 3 в стационарный режим 1, далее при движении

по дороге на ПК 31 и ПК 43 видимость опять становится недостаточной для обгона.

В обратном направлении от ПК 20 до ПК 50 средняя скорость достаточно высокая для гололеда по причине небольших продольных уклонов (не более 3 %). Видимость в обратном направлении достаточна для обгона на ПК 48 – ПК 44, ПК 38 – ПК 33 и ПК 23 – ПК 21 с режимом 2 движения потока. Это позволяет выполнять обгоны (до 12 обгонов в час) и на ПК 47 – ПК 44,

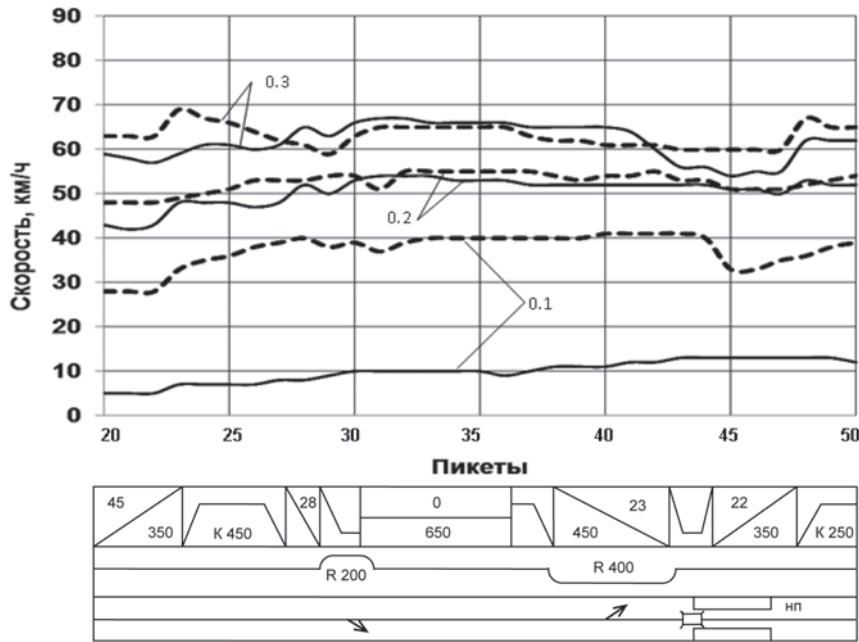


Рис. 2. Средние скорости потока при интенсивности 600 авт/ч; прямо – сплошные, обратно – пунктир; цифры – коэффициент сцепления

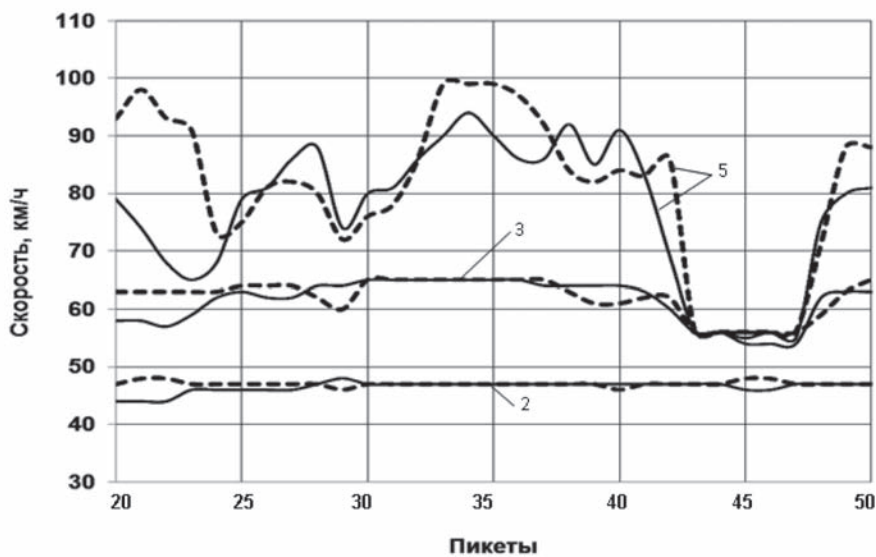


Рис. 3. Средние скорости потока при интенсивности 600 авт/ч; прямо – сплошные, обратно – пунктир; цифры – баллы ровности проезжей части

ПК 37 – ПК 33 и ПК 22 формируется стационарный режим 1.

Как показано на рис. 2 и рис. 3, при предельной интенсивности 600 авт/ч скорости в потоке меньше примерно в два раза, чем при интенсивности 300 авт/ч.

Аналогичны изменения и для обратного направления.

На рис. 3 показаны результаты моделирования движения транспортных потоков при неудовлетворительной, удовлетворительной и отличной ров-

ности на мокром и грязном покрытии и при недостаточной обеспеченности ресурсами для содержания дорог.

#### Выводы

Анализ результатов моделирования с расчетом различных скоростей в периоды снижения ровности и сцепных свойств проезжей части убеждает в том, что предложенная модель достаточно достоверно описывает характеристики движения транспортного потока, в котором скорости существенно меняются от пикета к пикету в соответствии с особенностями технического уровня дороги, показателями её эксплуатационного состояния и параметрами дорожной обстановки.

Для повышения достоверности обоснования оптимального варианта дороги при её проектировании или обоснования эксплуатационных мероприятий целесообразно оценивать характеристики режимов движения транспортных потоков в межремонтные периоды снижения таких важных показателей транспортно-эксплуатационного состояния дороги как ровность и сцепные свойства проезжей части.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кинг Г.Н., Радовский Б.С. Материалы и технологии компании KOCN MATERIALS для строительства и ремонта дорожных покрытий // Научно-технический информационный сборник “Новости в дорожном деле”. – 2004. – Вып. 6. – С. 28–62.
2. ВБН В.2. 3-218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу. [Чинний від 2005-01-01].
3. ДСТУ 3587-97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. [Чинний від 1997-07-31].
4. Филиппов В.В., Смирнова Н.В. Моделирование транспортных потоков на дорогах II – IV категорий: монография. – М., 2014. – 200 с.