

УДК 656.13:625.7

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ  
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ  
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

Д-р техн. наук **И.Н. Пугачёв**,  
канд. техн. наук **А.В. Каменчук**  
(Тихоокеанский государственный университет),  
д-р. техн. наук **В.А. Ярмолинский**  
(Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический  
университет (МАДИ)),  
инженер-строитель **Н.Г. Шешера**  
(ОБ ДПС ГИБДД УМВД России по г. Хабаровску)  
Конт. информация: [ipugachev64@mail.ru](mailto:ipugachev64@mail.ru);  
[kamenchukov@pnu.edu.ru](mailto:kamenchukov@pnu.edu.ru);  
[000019@pnu.edu.ru](mailto:000019@pnu.edu.ru);  
[kolyaka239@mail.ru](mailto:kolyaka239@mail.ru)

---

*В статье рассмотрены вопросы повышения качества и безопасности движения на автомобильной дороге. Предложена прогнозная методика оценки изменения эксплуатационного состояния дорожного покрытия после ремонта. Определена зависимость изменения скорости движения от вида и наличия дефектов на дорожном покрытии. Разработана методика оценки качества и безопасности дорожного движения на основе коэффициентов травматизма. Предложены подходы к совершенствованию существующей методики коэффициентов аварийности коэффициентами травматизма.*

**Ключевые слова:** *скорость движения, качество и безопасность движения, автомобильная дорога, дорожное покрытие, аварийность, травматизм, математическая модель.*

---

Проблема безопасности дорожного движения и аварийности на дорогах России является следствием роста обвальная автомобилизации населения. Увеличение числа автомобилей на дорогах приводит к тому, что дороги перестают эффективно выполнять свои функции, уменьшаются скорость и пропускная способность, снижаются качество и безопасность движения, создаются конфликтные ситуации, результатом которых, в большинстве случаев, становятся дорожно-транспортные происшествия (ДТП).

Качество и безопасность дорожного движения являются важнейшими потребительскими свойствами дороги, которые напрямую зависят от ровности покрытия проезжей части, чистоты и сухости покрытия, наличия и видов дефектов на покрытии.

В настоящее время транспортно-эксплуатационное состояние дороги оценивается коэффициентом обеспечения расчетной скорости, который определяется как минимальное из десяти найденных частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости (причем частные коэффициенты рассматриваются как равнозначные). Коэффициент, отвечающий за состояние и прочность дорожной одежды, обозначается  $K_{PC\delta}$ . Частный коэффициент расчетной скорости  $K_{PC\delta}$  определяется на участках дорожной одежды, где выявлено наличие дефектов покрытия дороги и установлены их характеристики [1].

Для устранения дефектов покрытия необходимо выполнить ремонтно-восстановительные работы. С этой целью используются специализированное оборудование, техника и технологии производства работ. Возможность использования различных технологий ремонта (термопрофилирование, холодный и горячий ресайклинг, Сларри Сил, струйно-инъекционный метод и др.) напрямую зависит от состояния дорожного покрытия, а не от оснащенности дорожно-ремонтных организаций на момент установления дефекта. Существующий метод оценки эксплуатационного качества работ по ремонту автомобильных дорог основан на анализе экономических выгод и затрат, без учета прямой оценки изменения эксплуатационного качества и безопасности дорожного движения [2]. В исследованиях [3, 4] предложено модернизировать существующий метод оценки эффективности работ по ремонту и капитальному ремонту автомобильных дорог:

$$PRQ = K_{\text{Э}} \cdot P_1 + K_{\text{С}} \cdot P_2 , \quad (1)$$

где

$K_{\text{Э}}$  – коэффициент, учитывающий изменение эксплуатационного качества и безопасности движения после производства работ по ремонту или реконструкции дороги;

$K_{\text{С}}$  – оценка экономических выгод и затрат на производство ремонтно-восстановительных работ;

$P_1$  и  $P_2$  – весовые коэффициенты.

Эксплуатационные качества и безопасность движения определяются по формуле:

$$K_{\text{Э}} = T_{\text{ЭР}} (\Delta K_{\text{пр}} + K_{\text{экс}}) , \quad (2)$$

где

$T_{\text{ЭР}}$  – период эффективной работы дорожного покрытия [5];

$\Delta K_{\text{пр}}$  – прирост коэффициента прочности дорожной одежды;

$K_{ЭКС}$  – критерий, учитывающий взаимные эффекты улучшения эксплуатационного качества и безопасности движения:

$$K_{ЭКС} = \prod K_i , \quad (3)$$

где

$K_i$  – коэффициенты, учитывающие эффективность изменения эксплуатационного состояния дорожного покрытия после устранения того или иного дефекта на покрытии и повышения качества и безопасности движения по дороге.

Критерий  $K_{ЭКС}$  можно получить только эмпирическим путем непосредственного измерения скоростей движения на участках дороги с характерными дефектами или сочетанием дефектов покрытия, до и после ремонтных работ в примерно идентичных природно-климатических условиях (время суток, наличие осадков). При этом величина коэффициента  $K_i$  не должна напрямую зависеть от техники и технологии производства работ, так как после ремонтных работ должно быть обеспечено наилучшее качество дорожного покрытия.

С 2016 г. по 2017 г., в летний период времени, на дорогах Хабаровского края выполнялись работы по измерению скорости движения на участках производства работ по ремонту дорожного покрытия. Всего исследовалось 12 участков с трещинами на покрытии и 19 участков с выбоинами на 3 автомобильных дорогах (длина участка от 100 до 150 м), в том числе:

1. г. Хабаровск – с. Лидога – р.п. Ванино с подъездом к г. Комсомольск-на Амуре на участке 102-119 км (участки 1, 2, 4, 5, 7, 10, 13, 14, 15, 19, 20, 24, 28);
2. Обход п. Красная Речка – с. Казакевичево на участке 12-17 км (участки 6, 11, 12, 16, 17, 21, 25, 29, 30);
3. г. Хабаровск – с. Ильинка – с. Ракитное – с. Гаровка – пос. им. Горького на участке 8-11 км (участки 3, 8, 9, 18, 22, 23, 26, 27, 31).

Интенсивность и скорость движения легковых транспортных средств определялась путем видеонаблюдения. Измерялось время проезда легкового автомобиля через участок с дефектом. Скорость движения определялась с точностью до 5 км/ч как расстояние, деленное на время. Данные по изменению скоростей движения легковых транспортных средств сгруппированы по участкам, в зависимости от вида дефекта покрытия (**табл. 1**). Аналогичным образом измерялась скорость движения на участках после устранения дефектов, при этом сам способ восстановления потребительских свойств дороги не фиксировался. Результаты измерений представлены в **табл. 2**.

Таблица 1

*Скорости движения легковых транспортных средств до ремонта дорожного покрытия*

Участок	Интервалы измерения скоростей движения (км/ч) и количество измерений в интервале											Средняя скорость, км/ч
	[30÷40)	[40÷50)	[50÷60)	[60÷70)	[70÷80)	[80÷90)	[90÷100)	[100÷110)	[110÷120)	[120÷130)	[130÷140]	
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 2 мм</i>												
№ 1	0	0	5	29	108	214	72	21	7	3	1	84,37
№ 2	0	2	2	24	72	154	42	22	6	2	0	84,33
№ 3	0	2	2	24	76	150	42	24	4	2	0	84,15
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>77</b>	<b>256</b>	<b>518</b>	<b>156</b>	<b>67</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>84,29</b>
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 5 мм</i>												
№ 4	0	0	3	26	106	225	67	23	6	3	1	84,59
№ 5	0	0	3	37	102	222	65	23	5	3	0	83,98
№ 6	0	1	4	22	74	150	50	20	5	0	0	84,12
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>85</b>	<b>282</b>	<b>597</b>	<b>182</b>	<b>66</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>84,24</b>
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 10 мм</i>												
№ 7	0	1	5	35	104	233	56	19	7	0	0	83,31
№ 8	0	3	5	35	115	217	58	19	5	3	0	83,07
№ 9	0	0	6	34	74	162	48	12	6	0	0	82,96
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>104</b>	<b>293</b>	<b>612</b>	<b>162</b>	<b>50</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>83,13</b>
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия более 10 мм</i>												
№ 10	0	3	3	35	102	224	62	17	7	5	2	84,00
№ 11	0	4	4	34	70	168	46	10	4	2	0	82,67
№ 12	0	2	4	38	66	164	48	13	4	2	1	83,16
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>107</b>	<b>238</b>	<b>556</b>	<b>156</b>	<b>40</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>83,35</b>
<i>Одиночные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами более 20 м)</i>												
№ 13	0	3	27	84	161	105	43	11	2	0	0	76,95
№ 14	0	2	22	80	182	98	41	10	1	0	0	76,93
№ 15	0	4	25	88	166	102	39	12	0	0	0	76,52

Участок	Интервалы измерения скоростей движения (км/ч) и количество измерений в интервале											Средняя скорость, км/ч
	[30÷40]	[40÷50]	[50÷60]	[60÷70]	[70÷80]	[80÷90]	[90÷100]	[100÷110]	[110÷120]	[120÷130]	[130÷140]	
№ 16	0	3	26	76	171	101	45	10	3	1	0	77,32
№ 17	0	2	21	82	179	99	39	12	2	0	0	77,09
№ 18	0	1	23	84	182	95	41	9	1	0	0	76,73
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>144</b>	<b>494</b>	<b>1041</b>	<b>600</b>	<b>248</b>	<b>64</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>76,92</b>
<i>Отдельные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами 10-20 м)</i>												
№ 19	0	4	39	92	175	77	39	5	2	0	0	74,91
№ 20	0	6	38	95	174	78	35	6	1	0	0	74,57
№ 21	0	5	40	99	168	79	40	2	0	0	0	74,34
№ 22	0	4	41	98	172	73	38	5	2	0	0	74,54
№ 23	0	2	37	93	176	80	37	7	1	0	0	75,14
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>195</b>	<b>477</b>	<b>865</b>	<b>387</b>	<b>189</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>74,70</b>
<i>Редкие выбоины в тех же случаях (расстояние 4-10 м)</i>												
№ 24	2	26	87	147	94	58	12	3	1	0	0	67,75
№ 25	3	20	92	150	91	60	13	1	0	0	0	67,63
№ 26	0	31	91	144	93	59	10	2	0	0	0	67,24
№ 27	0	27	85	155	89	63	9	2	0	0	0	67,59
<b>ИТОГО</b>	<b>5</b>	<b>104</b>	<b>355</b>	<b>596</b>	<b>367</b>	<b>240</b>	<b>44</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>67,55</b>
<i>Частые выбоины в тех же случаях (расстояние 1-4 м)</i>												
№ 28	12	68	167	105	62	24	1	0	0	0	0	59,86
№ 29	11	72	175	99	60	20	2	0	0	0	0	59,40
№ 30	5	79	150	109	65	25	4	2	0	0	0	60,72
№ 31	10	71	169	102	59	26	2	0	0	0	0	59,90
<b>ИТОГО</b>	<b>38</b>	<b>290</b>	<b>661</b>	<b>415</b>	<b>246</b>	<b>95</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>59,97</b>

Таблица 2

## Скорости движения после ремонта дорожного покрытия

Участок	Интервалы измерения скоростей движения (км/ч) и количество измерений в интервале											Средняя скорость, км/ч
	[30÷40)	[40÷50)	[50÷60)	[60÷70)	[70÷80)	[80÷90)	[90÷100)	[100÷110)	[110÷120)	[120÷130)	[130÷140)	
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 2 мм</i>												
№ 1	0	0	2	35	105	209	79	28	8	2	0	84,71
№ 2	0	0	2	21	70	159	41	25	7	3	0	85,19
№ 3	0	1	2	22	71	155	42	26	7	2	0	84,94
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>78</b>	<b>246</b>	<b>523</b>	<b>162</b>	<b>79</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>84,92</b>
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 5 мм</i>												
№ 4	0	0	2	29	98	217	77	31	11	3	0	85,48
№ 5	0	0	2	36	99	210	77	28	10	4	2	85,26
№ 6	0	0	1	23	69	157	46	23	8	1	0	85,07
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>88</b>	<b>266</b>	<b>584</b>	<b>200</b>	<b>82</b>	<b>29</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>85,29</b>
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 10 мм</i>												
№ 7	0	0	4	34	102	210	74	29	10	4	1	85,03
№ 8	0	0	5	37	107	199	75	30	11	4	0	84,75
№ 9	0	0	2	33	79	169	60	24	10	2	0	84,87
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>104</b>	<b>288</b>	<b>578</b>	<b>209</b>	<b>83</b>	<b>31</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>84,88</b>
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия более 10 мм</i>												
№ 10	0	0	0	31	97	212	79	32	10	4	3	85,97
№ 11	0	1	2	31	81	164	64	22	10	3	1	85,06
№ 12	0	1	3	30	77	168	65	21	11	2	1	85,08
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>92</b>	<b>255</b>	<b>544</b>	<b>208</b>	<b>75</b>	<b>31</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>85,41</b>
<i>Одиночные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами более 20 м)</i>												
№ 13	0	0	2	37	64	127	159	35	7	1	0	87,55
№ 14	0	0	3	27	71	136	161	31	3	0	0	87,27
№ 15	0	0	2	29	67	121	170	37	5	1	0	88,06
№ 16	0	1	3	34	68	131	157	32	6	0	0	87,09

Участок	Интервалы измерения скоростей движения (км/ч) и количество измерений в интервале											Средняя скорость, км/ч
	[30÷40)	[40÷50)	[50÷60)	[60÷70)	[70÷80)	[80÷90)	[90÷100)	[100÷110)	[110÷120)	[120÷130)	[130÷140)	
№ 17	0	0	1	32	64	129	169	33	4	0	0	87,69
№ 18	0	0	2	30	66	134	154	38	6	2	0	87,88
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>189</b>	<b>400</b>	<b>778</b>	<b>970</b>	<b>206</b>	<b>31</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>87,59</b>
<i>Отдельные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами 10-20 м)</i>												
№ 19	0	0	2	34	68	121	171	33	7	0	0	87,67
№ 20	0	0	5	39	66	116	173	33	3	1	0	87,14
№ 21	0	1	3	37	69	126	167	29	4	0	0	86,86
№ 22	0	1	3	36	70	117	172	34	3	0	0	87,16
№ 23	0	0	2	41	63	124	164	35	6	1	0	87,41
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>187</b>	<b>336</b>	<b>604</b>	<b>847</b>	<b>164</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>87,25</b>
<i>Редкие выбоины в тех же случаях (расстояние 4-10 м)</i>												
№ 24	0	1	5	41	66	117	175	33	2	0	0	86,82
№ 25	0	0	4	40	64	124	160	39	7	2	0	87,53
№ 26	0	0	7	39	69	122	161	35	5	2	0	86,96
№ 27	0	1	3	45	65	120	170	31	4	1	0	86,82
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>165</b>	<b>264</b>	<b>483</b>	<b>666</b>	<b>138</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>87,03</b>
<i>Частые выбоины в тех же случаях (расстояние 1-4 м)</i>												
№ 28	0	0	2	38	66	132	169	29	2	0	0	86,95
№ 29	0	0	3	41	70	129	159	31	4	1	0	86,74
№ 30	0	0	2	36	68	134	163	33	2	0	0	87,04
№ 31	0	1	4	39	72	131	159	30	2	0	0	86,35
<b>ИТОГО</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>154</b>	<b>276</b>	<b>526</b>	<b>650</b>	<b>123</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>86,77</b>

Так как изменение эксплуатационного состояния дорожного покрытия характеризуется обеспеченностью расчетной скорости движения, то величина, на которую изменилась скорость движения, после приведения дорожного покрытия в нормативное эксплуатационное состояние, будет характеризовать коэффициент улучшения эксплуатационного качества и безопасности движения:

$$K = V_2/V_1, \quad (4)$$

где

$V_1$  и  $V_2$  – скорости движения на участке до и после ремонтных работ.

Расчет коэффициентов для каждого состояния дорожного покрытия выполнен по средним итоговым величинам скорости движения легковых транспортных средств. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таким образом, установлено, что дефекты на дорожном покрытии в значительной степени влияют на локальные изменения скорости дорожного движения, и чем значительнее, существеннее этот дефект, тем больше увеличивается скорость движения на участке дороги после его устранения.

Тем не менее, нельзя забывать, что с увеличением скорости движения растет число и тяжесть ДТП, поэтому после восстановления потребительских свойств дороги необходимы ее обслуживание и своевременная ликвидация очагов возникновения ДТП.

Существует определенный предел аварийности участка дороги, по достижению которого выполнение ремонтных работ становится неэффективным. Это происходит в тех случаях, когда аварийность на участке вызвана не уменьшением транспортно-эксплуатационного качества покрытия дороги, а несоответствием геометрических характеристик фактическим условиям эксплуатации. В этих случаях необходимо выполнять работы по реконструкции участка дороги. Для выявления потенциально опасных участков используется метод коэффициентов аварийности [6].

В настоящее время требования к автотранспортным средствам значительно изменились, поэтому изначальная концепция «Метода коэффициентов аварийности» требует некоторых усовершенствований и дополнений.

Одним из наиболее значимых критериев оценки потенциальной опасности аварийного участка дороги является тяжесть последствий, возникающих при ДТП. Возникновение ДТП с тяжкими последствиями



указывает на необходимость повышения качества проектирования и строительства автомобильных дорог, совершенствования нормативно-технической базы и систем контроля качества и безопасности дорожного движения [7].

**Таблица 3**

*Коэффициенты улучшения эксплуатационного качества и безопасности движения*

<i>Характеристика дефекта</i>	<i>Средняя скорость, км/ч</i>		<i>Коэффициент, К</i>
	<i>до ремонта</i>	<i>после ремонта</i>	
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 2 мм</i>	84,29	84,92	1,0075
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 5 мм</i>	84,24	85,29	1,0125
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия до 10 мм</i>	83,13	84,88	1,0211
<i>Поперечные и продольные трещины, при ширине раскрытия более 10 мм</i>	83,35	85,41	1,0248
<i>Одиночные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами более 20 м)</i>	76,92	87,59	1,1388
<i>Отдельные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами 10-20 м)</i>	74,70	87,25	1,1681
<i>Редкие выбоины в тех же случаях (расстояние 4-10 м)</i>	67,55	87,03	1,2884
<i>Частые выбоины в тех же случаях (расстояние 1-4 м)</i>	59,97	86,77	1,4469

Для повышения эффективности использования методики коэффициентов аварийности и определения влияния транспортно-эксплуатационного состояния дороги на безопасность дорожного движения разработана дополнительная «Методика коэффициентов травматизма» [8, 9].

Для выявления факторов, влияющих на травматизм необходимо рассматривать условия, при которых возникло ДТП. Каждый транспортный показатель и геометрический элемент дороги влияют на вероятность возникновения ДТП, в том числе с пострадавшими. Работы по определению взаимного влияния транспортно-эксплуатационных, природно-климатических и психофизиологических факторов, влияющих на уровень травматизма при возникновении ДТП, проводились в два этапа.

*Первый этап* работы заключался в установлении, систематизации и классификации факторов, которые имеются при ДТП, в том числе с учетом факторов, указанных в работах В.Ф. Бабкова. Все выявленные факторы систематизированы по ключевым признакам в специальную базу данных.

*На втором этапе* предусматривалось выполнение анализа и обработки полученных результатов полевых исследований. Установлено, что для определения коэффициентов влияния отобранных факторов на травматизм наиболее подходящим является метод логистической регрессии, который предназначен для предсказания вероятности наступления события, при условии, что зависимая переменная является бинарным признаком.

Для сравнения признаков в группах с травматизмом и без него, были созданы четырехпольные таблицы (табл. 4).

**Таблица 4**

*Четырехпольная таблица сравнения признаков вероятности травматизма*

<i>Группы участников ДТП</i>	<i>ДТП с пострадавшими</i>	<i>ДТП без пострадавших</i>
<i>Подверглись воздействию</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
<i>Не подвергались воздействию</i>	<i>c</i>	<i>d</i>

Согласно **табл. 4**, для каждого признака были подсчитаны сумма положительных и отрицательных результатов с травматизмом, сумма положительных и отрицательных результатов без травматизма, шанс подвергнуться воздействию:

- шанс подвергнуться воздействию ДТП с пострадавшими ( $a/c$ ),
- шанс подвергнуться воздействию ДТП без пострадавших ( $b/d$ ).

Для оценки различий используем критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{(ad-bc)^2 \cdot n}{(a+b) \cdot (c+d) \cdot (a+c) \cdot (b+d)} \quad (5)$$

где

$n$  – общее число наблюдений.

Для каждого признака была определена вероятность ошибки  $p$ :

- если  $\chi^2 \geq 3,84$ , то вероятность ошибки  $p$  равна 5 %;

- если  $\chi^2 \geq 6,64$ , то вероятность ошибки  $p$  равна 1 %;
- если  $\chi^2 \geq 10,83$ , то вероятность ошибки  $p$  равна 0,1 %.

По результатам рассмотренных случаев ДТП удалось отобрать 14 переменных в пределах  $0,01 < p < 0,05$  (табл. 5).

**Таблица 5**

*Сводная таблица данных независимых переменных, оказывающих влияние на травматизм*

<i>Критерий оценивания</i>	<i>ДТП без пострадавших</i>			<i>ДТП с пострадавшими</i>			$\chi^2$	$p$
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b/d</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>a/c</i>		
<i>2 полосы движения</i>	136	146	0,93	8	25	0,32	6,85	0,01
<i>5 полос движения</i>	39	243	0,16	9	24	0,37	4,13	0,05
<i>Ширина проезжей части до 15-15,(9) м.</i>	7	275	0,03	3	30	0,1	4,2	0,05
<i>Ширина проезжей части до 18-18,(9) м.</i>	8	273	0,03	4	29	0,14	6,91	0,01
<i>Ограничение видимости в плане <math>\leq 200</math> м</i>	136	146	0,93	24	9	2,67	7,1	0,01
<i>Покрытие скользкое; коэффициент сцепления – 0,1-0,3</i>	168	114	1,47	12	21	0,57	6,5	0,05
<i>Покрытие чистое, сухое; коэффициент сцепления – 0,6</i>	90	192	0,47	19	14	1,36	8,6	0,01
<i>Покрытие шероховатое, новое; коэффициент сцепления – 0,75</i>	46	236	0,19	12	21	0,57	7,91	0,01
<i>Наличие тротуара шириной <math>\leq 4</math> м</i>	29	253	0,11	8	25	0,32	5,55	0,05
<i>Наличие бордюра или бокового препятствия высотой до 10-19,(9) см</i>	45	237	0,19	10	23	0,43	4,22	0,05
<i>Средняя скорость движения – <math>\leq 20</math> км/ч</i>	45	237	0,19	1	32	0,03	3,96	0,05
<i>Средняя скорость движения – 60 км/ч</i>	136	146	0,93	23	10	2,3	5,45	0,05
<i>ДТП на пешеходном переходе</i>	6	276	0,02	3	30	0,1	5,16	0,05
<i>Радиус кривых в плане – 200-349,9 м</i>	136	146	0,93	8	25	0,32	6,85	0,01

Все случаи разделены на две группы: ДТП с пострадавшими и ДТП без пострадавших.

Далее, используя метод логистической регрессии в программе «Statistica 6.0» из ранее выбранных признаков, путем исключения либо включения в логистическую модель независимых переменных, подбираем минимальное значение  $p$  данной модели (**табл. 6**). Смысл подбора лучшей модели заключается в выявлении независимых переменных, которые совместно оказывают наибольшее влияние на возникновение травматизма на дороге.

С определением коэффициентов независимых переменных (**табл. 5**) стало возможным предсказывать возникновение ДТП по принципу линейного графика коэффициентов аварийности В. Ф. Бабкова.

Значения коэффициентов округлены до 0,01. Затем были рассчитаны показатели чувствительности и специфичности для всех вариантов суммы коэффициентов, включенных признаков (в дальнейшем коэффициенты в прогностической шкале будут именоваться баллами).

Чувствительность – доля ДТП с травматизмом от всех учетных аварий при положительных результатах теста (**табл. 7**):

$$\frac{\text{число истинно положительных результатов}}{\text{число истинно положительных результатов} + \text{число ложно отрицательных результатов}}$$

Специфичность – доля ДТП без травматизма от всех учетных аварий при отрицательных результатах теста (**табл. 7**):

$$\frac{\text{число истинно отрицательных результатов}}{\text{число истинно отрицательных результатов} + \text{число ложно положительных результатов}}$$

На основе **табл. 7** построен график соотношения чувствительности и специфичности для различных пороговых значений суммы баллов прогностической шкалы, представленной на **рис. 1** (значения суммы баллов для прогноза травматизма представлены в **табл. 7**).

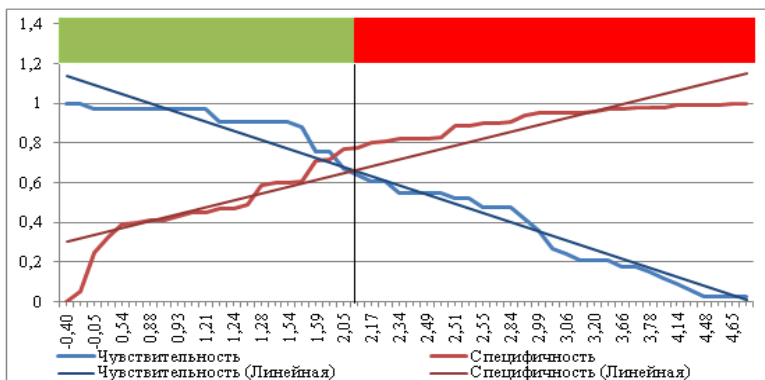
На основании анализа полученных данных выбраны границы прогностических диапазонов:

- суммы баллов, при которой вероятность травматизма будет наименьшей (зеленая зона, **табл. 7**);
- суммы баллов, при которой вероятность травматизма будет высокой (красная зона, **табл. 7**);

**Лучшая модель логистической регрессии**  
 $(\chi^2 = 39,696 \text{ } p = 0,0001)$

	2 полосы движения	Ширина проезжей части до 18-18,(9) м.	Наличие обочины шириной 3 м	Ограничение видимости в плане – $\leq 200$ м.	Покрытие шероховатое, новое; коэффициент сцепления – 0,75	Наличие тротуара шириной $\leq 4$ м	Средняя скорость движения – 60 км/ч	ДТП на пешеходном переходе	Радиус кривых в плане – 200-349,9 м
<b>Значение коэффициента</b>	-0,34556	1,44674	2,9149	1,312754	0,937902	1,262661	-0,04846	1,59205	2,09848
<b>Стандартная ошибка</b>	0,53434	0,72333	1,0132	0,487638	0,451936	0,519184	0,48468	0,69166	0,84492
<b><math>\chi^2</math></b>	0,41823	4,00044	8,276	7,247216	4,306857	5,914673	0,00999	5,29816	6,16842
<b>Отношение шансов</b>	0,70782	4,24923	18,4465	3,716393	2,554615	3,534815	0,9527	4,91381	8,15375
<b>-95 % ДИ</b>	0,24733	1,02365	2,5119	1,423588	1,049782	1,272536	0,36707	1,25986	1,54626
<b>+95 % ДИ</b>	2,0257	17,63889	135,4653	9,701951	6,216584	9,818914	2,47268	19,16531	42,99648

**Примечание:** ДИ – доверительный интервал.

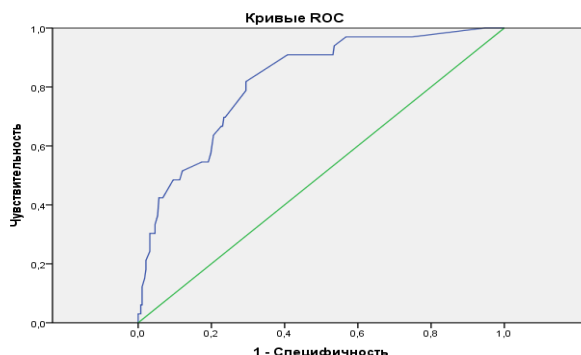


**Рис. 1. Диаграмма соотношения чувствительности и специфичности**

*Сводная таблица баллов, показателей чувствительности и специфичности*

Баллы	Чувствительность	Специфичность	Баллы	Чувствительность	Специфичность
-0,40	1	0	2,39	0,55	0,82
-0,35	1	0,05	2,49	0,55	0,82
-0,05	0,97	0,25	2,50	0,55	0,83
0,00	0,97	0,33	2,51	0,52	0,89
0,54	0,97	0,39	2,54	0,52	0,89
0,59	0,97	0,4	2,55	0,48	0,9
0,88	0,97	0,41	2,56	0,48	0,9
0,89	0,97	0,41	2,84	0,48	0,91
0,93	0,97	0,43	2,89	0,42	0,94
0,94	0,97	0,45	2,99	0,36	0,95
1,21	0,97	0,45	3,01	0,27	0,95
1,23	0,91	0,47	3,06	0,24	0,95
1,24	0,91	0,47	3,15	0,21	0,95
1,26	0,91	0,49	3,20	0,21	0,96
1,28	0,91	0,59	3,45	0,21	0,97
1,40	0,91	0,60	3,66	0,18	0,97
1,54	0,91	0,60	3,76	0,18	0,98
1,56	0,88	0,61	3,78	0,15	0,98
1,59	0,76	0,71	3,95	0,12	0,98
1,61	0,76	0,72	4,14	0,09	0,99
2,05	0,67	0,77	4,47	0,06	0,99
2,15	0,64	0,78	4,48	0,03	0,99
2,17	0,61	0,8	4,60	0,03	0,99
2,20	0,61	0,81	4,65	0,03	1
2,34	0,55	0,82	5,37	0,03	1

Исходя из значений чувствительности и специфичности, в программе «PASW Statistics 18» построена характеристическая кривая (ROC-кривая; англ. Receiver Operating Characteristic (ROC) curve).



*Рис. 2. Зависимость чувствительности от специфичности*

Площадь под кривой (**рис. 2**) составила 0,82 (95 % ДИ 0,75-0,89), что показывает высокое качество разработанной прогностической шкалы.

Таким образом, проведенные исследования транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и предлагаемая «Методика коэффициентов травматизма», представляют собой комплексный подход к повышению безопасности дорожного движения и требований к качеству проектирования, строительства и ремонта транспортных сооружений.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог (взамен ВСН 6-90) / Росавтодор. – М.: Информавтодор, 2002. – 139 с.
2. ОДМ 218.2.028–2012. Методические рекомендации по технико-экономическому сравнению вариантов дорожных одежд. – М.: Росавтодор, 2013. – 53 с.
3. *Kamenchikov A.V. Integrated efficiency assessment of road reconditioning / A.V. Kamenchikov, V.A. Yarmolinskii // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – №7 (58). – С. 7-17.*
4. *Ярмолинский В.А. Разработка методики выбора эффективных методов ремонтных работ в зависимости от их стоимости и фактического транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия / В.А. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Транспортное строительство. – 2014. – № 8 – С. 23-26.*
5. *Каменчуков А.В. Выбор оптимальных методов ремонта покрытия автомобильных дорог Хабаровского края / В.А. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Третий Всероссийский дорожный конгресс «Модернизация и научные исследования в дорожной отрасли»: сб. науч. тр. / МОО «Дорожный Конгресс», МАДИ. – М.: ТехПолиграф-Центр, 2013. – С. 60-69.*
6. *Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.*
7. *Перспективы исследования дорожной обстановки при совершении ДТП с позиций травматизма / И.Н. Пугачев, Н.Г. Шешера // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – Вып. 14. (Научные чтения памяти профессора М.П. Даниловского). – С. 279-281.*
8. *Шешера Н.Г. Повышение безопасности дорожного движения на основе усовершенствованной методики коэффициентов аварийности (на примере города Хабаровска) [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук*

- (05.23.11) / Шешера Николай Геннадьевич; Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск, 2017. – 16 с.
9. Pugachev I. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems / I. Pugachev, Y. Kulikov, G. Markelov, N. Sheshera // *Transportation Research Procedia*. – V. 20, 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. – 2017. – PP. 529-535.

## L I T E R A T U R A

1. ODN 218.0.006-2002. *Pravila diagnostiki i ocenki sostojanija avtomobil'nyh dorog (vzamen VSN 6-90) / Rosavtodor*. – M.: Informavtodor, 2002. – 139 s.
2. ODM 218.2.028–2012. *Metodicheskie rekomendacii po tehniko-jekonomicheskomu sravneniju variantov dorozhnyh odezhd*. – M.: Rosavtodor, 2013. – 53 s.
3. Kamenchukov A.V. *Integrated efficiency assessment of road reconditioning / A.V. Kamenchukov, V.A. Yarmolinskii // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. – 2017. – #7 (58). – S. 7-17.
4. Jarmolinskij V.A. *Razrabotka metodiki vybora jeffektivnyh metodov remontnyh rabot v zavisimosti ot ih stoimosti i fakticheskogo transportno-jekspluacionnogo sostojanija dorozhnogo pokrytija / V.A. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Transportnoe stroitel'stvo*. – 2014. – # 8 – S. 23-26.
5. Kamenchukov A.V. *Vybor optimal'nyh metodov remonta pokrytija avtomobil'nyh dorog Habarovskogo kraja / V.A. Jarmolinskij, A.V. Kamenchukov // Tretij Vserossijskij dorozhnyj kongress «Modernizacija i nauchnye issledovanija v dorozhnoj otrasli»: sb. nauch. tr. / MOO «Dorozhnyj Kongress», MADI*. – M.: TehPoligraf-Centr, 2013. – S. 60-69.
6. Babkov V.F. *Dorozhnye uslovija i bezopasnost' dvizhenija: uchebnik dlja vuzov / V.F. Babkov*. – M.: Transport, 1993. – 271 s.
7. *Perspektivy issledovanija dorozhnoj obstanovki pri svershenii DTP s pozicij travmatizma / I.N. Pugachev, N.G. Sheshera // Dal'nij Vostok: problemy razvitija arhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. – Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2014. – Vyp. 14. (Nauchnye chtenija pamjati professora M.P. Danilovskogo). – S. 279-281.
8. Sheshera N.G. *Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija na osnove usovershenstvovannoj metodiki kojefficientov avarijnosti (na primere goroda Habarovska) [Tekst]: avtoref. dis... kand. tehn. nauk (05.23.11) / Sheshera Nikolaj Gennad'evich; Tihookean. gos. un-t. – Habarovsk, 2017. – 16 s.*



9. Pugachev I. *Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems / I. Pugachev, Y. Kulikov, G. Markelov, N. Sheshera // Transportation Research Procedia. – V. 20, 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. – 2017. – PP. 529-535.*

---

***A COMPREHENSIVE APPROACH FOR IMPROVING ROAD TRAFFIC SAFETY ON THE BASIS OF ROAD TRANSPORT AND OPERATING CONDITION ANALYSIS***

*Doctor of Engineering* **I.N. Pugachev**,  
*Ph. D. (Tech.)* **A.V. Kamenchukov**  
(Pacific National University),  
*Doctor of Engineering* **V.A. Yarmolinskiy**  
(Moscow Automobile  
and Road Construction  
State Technical University  
(MADI)),  
*Engineer* **N.G. Sheshera**  
(Separate Security and Control Battalion  
of Road Patrol Service  
of State Road Traffic Safety Inspection  
of Regional Office of the Ministry  
of Internal Affairs of Russia in Khabarovsk)  
Contact information: *ipugachev64@mail.ru;*  
*kamenchukov@pnu.edu.ru;*  
*000019@pnu.edu.ru;*  
*kolyaka239@mail.ru*

*The article dwells upon the issues of road traffic quality and safety improving. The forecasting method for estimating changes in road pavement operating condition after repair is proposed. The dependence of speed change on type and presence of road pavement defects is determined. The method for assessing the road traffic quality and safety based on injury rates has been developed. Some approaches for enhance the existing method of accident rate coefficients by injury rates are suggested.*

**Key words:** *speed, road traffic quality and safety, road, road pavement, risk of accidents, injury rate, mathematical model.*

---

Рецензент: канд. техн. наук И.Ф. Живописцев (ФАУ «РОСДОРНИИ»).  
Статья поступила в редакцию: 19.03.2018 г.