

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВЫХ ГОРОДСКИХ ОБЪЕКТАХ

Канд. техн. наук, доц. КАПСКИЙ Д. В.

Белорусский национальный технический университет

Для оценки и выбора решений по организации дорожного движения необходима методика расчета аварийных потерь на типовых объектах. Однако для этого следует знать среднее годовое число аварий и расчетную социально-экономическую стоимость издержек одной аварии (соответственно со смертельным исходом, с ранением и материальным ущербом) [1].

Проблема заключается в отсутствии действенных методик прогнозирования числа аварий на типовых конфликтных объектах и методики определения расчетной стоимости аварий. Конечно, возможно воспользоваться значениями, полученными в результате прогнозирования аварийности по статистическому методу [2, 3], однако они пригодны лишь для грубой предварительной оценки эффективности по критерию безопасности. Значения числа аварий, полученные в результате прогнозирования аварийности по методу конфликтных ситуаций [4–7], пригодны для оценки аварийной эффективности уже внедренных или внедряемых мероприятий для существующих объектов. Значения числа аварий, полученные в результате прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон, пригодны для оценки и выбора решений на любой стадии – от принятия решений до эксплуатации объекта. Однако комплекс методик прогнозирования аварийности по этому методу для всех видов конфликтов на всех типовых объектах практически отсутствует – имеется лишь методика прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках в конфликте «транспорт – транспорт» (столкновения боковые и поворотные), что делает невозможным его практическое применение [8].

Поэтому в статье поставлена и решена задача создания методик расчета аварийных потерь

на регулируемых перекрестках и искусственных неровностях, расположенных в зоне регулируемых пешеходных переходов. Для решения этой задачи необходимо разработать методики прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон на регулируемых перекрестках в конфликтах «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади и попутные), «транзитный транспорт – пешеход» и «поворотный транспорт – пешеход», а также методики прогнозирования аварийности на искусственных неровностях в конфликте «транспорт – транспорт» и «транспорт – пешеход». Они, как правило, отличаются функцией перевода потенциальной опасности в аварийность, величинами динамических коэффициентов приведения аварий по тяжести последствий, способом определения коэффициента $K_{\text{он}}$, численными значениями порога чувствительности, показателей степени m , n , a_1 – a_6 и т. д.

Разработка частных методик заключается в получении адекватных зависимостей аварийности от потенциальной опасности и численных значений и производится с помощью специальной исследовательской (оптимизационной) программы поиска наилучших зависимостей, также созданной автором ранее в процессе исследований. Разработаны методики прогнозирования по исходным данным, полученным для прогнозирования аварийности, и характеристикам фактической аварийности на статистической выборке исследуемых объектов [9–11]. В статье приведены основные положения по установлению численных значений порогов чувствительности по потенциальной опасности для различных видов конфликтов и результаты разработки методик прогнозирования аварий-

ности по методу конфликтных зон на регулируемых перекрестках и искусственных неровностях, расположенных в зоне нерегулируемых пешеходных переходов.

Некоторые конфликтные объекты работают безаварийно в течение довольно длительного времени. Детальный очаговый анализ аварийности на различных конфликтных объектах (перекрестках и пешеходных переходах) показал, что в значительной части конфликтных точек аварии также отсутствуют. Это позволяет выдвинуть гипотезу, что потенциальная опасность, не превышающая некоторого критического (порогового) значения, не вызывает очаговой аварийности.

Физический смысл этого явления заключается в том, что система ВАДС (водитель – автомобиль – дорога – среда движения) способна самостоятельно разрешать конфликты малой опасности. При этом постоянное совершенствование конструкции автомобилей, рост профессионального уровня водителей, ознакомления людей с автомобильной техникой с раннего возраста и другие факторы привели к тому, что минимальный уровень опасности, который разрешается автоматически в системе ВАДС, или так называемый порог чувствительности потенциальной опасности, постоянно повышается.

Потенциальная опасность конфликтных точек, которая меньше порога чувствительности,

не должна суммироваться при определении потенциальной опасности конфликтных зон. Порог чувствительности потенциальной опасности – это минимальная величина потенциальной опасности в конфликтной точке, которая с доверительной вероятностью 0,5 не вызывает аварий в количестве 0,333 ав./год и более. Это позволит получить более значимые зависимости и повысить точность прогноза. Для проверки выдвинутой гипотезы были проведены расчетные исследования по определению порога чувствительности для всех режимов движения.

Потенциальная опасность конфликтной зоны с учетом порога чувствительности в общем случае определяется по формуле

$$P_{oz} = \left[\sum_{k=1}^K (P_o - P_{o0})_k^m \right]^n, \text{ ед.} \quad (1)$$

где k – количество конфликтных точек в конфликтной зоне; P_{o0} – порог чувствительности для каждого режима движения для объекта исследования, ед.; m и n – показатели степени.

В табл. 1 приведены некоторые законы распределения потенциальной опасности и значения начального порога чувствительности при внутрифазном режиме движения, полученные по выборке 157 конфликтных точек для 30 значимых моделей связи аварийности и потенциальной опасности боковых и поворотных столкновений.

Значения потенциальной опасности при «нулевой» аварийности (внутрифазный режим) при выборе варианта модели прогнозирования (фрагмент)

Таблица 1

Значимость моделей (F-критерий)	Закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках (χ^2 ; критерий Романовского; критерий Мизеса)	Параметр распределения	Значение потенциальной опасности ($\gamma = 0,5$)
255,3	Экспоненциальный (2,330; 0,163; 1,100)	$\lambda = 4,4600$	0,1554
119,7	Экспоненциальный (4,000; 0,407; 2,400)	$\lambda = 1,7200$	0,4030
138,1	Экспоненциальный (3,950; 0,390; 1,400)	$\lambda = 68,5000$	0,0101
172,6	Экспоненциальный (1,450; -0,273; 3,100)	$\lambda = 19,9000$	0,0348
216,8	Экспоненциальный (1,620; -0,192; 3,700)	$\lambda = 53,5000$	0,0130
17,0	Экспоненциальный (1,100; -0,449; 9,700)	$\lambda = 35,4000$	0,0196
169,4	Логнормальный (2,090; 0,771; 4,000)	$\mu = -6,1800$; $\sigma^2 = 1,2000$	0,0021
169,7	Экспоненциальный (1,370; -0,313; 3,900)	$\lambda = 53,9000$	0,0129
170,0	Экспоненциальный (0,710; -0,647; 3,900)	$\lambda = 53,7000$	0,0129
152,1	Экспоненциальный (0,880; -0,558; 3,100)	$\lambda = 52,5000$	0,0132
153,6	Вейбулла (0,080; -0,651; 2,100)	$\lambda = 0,0941$; $B = 0,4780$	0,0311
110,0	Вейбулла (0,100; -0,636; 7,000)	$\lambda = 0,2810$; $B = 0,4710$	0,0931

На рис. 1 показан закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках, полученный по первой (табл. 1) модели связи аварийности и потенциальной опасности. В результате расчетов по всем 30 моделям для внутрифазного режима движения получено начальное значение порога чувствительности, равное $P_{0\text{вф}} = 0,15$ ед.

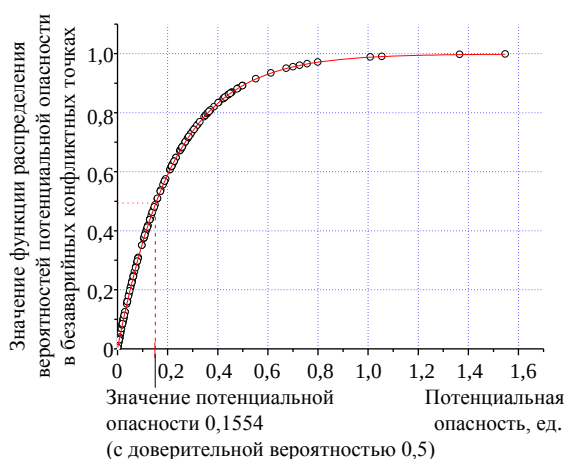


Рис. 1. Распределение значений параметра потенциальной опасности внутрифазного режима в безаварийных конфликтных точках

Аналогичным способом установлены значения порога чувствительности для методики прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон на регулируемых перекрестках для регулируемых и нерегулируемых режимов движения в конфликте «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади и попутные) (табл. 2).

Таблица 2

Законы распределения значений потенциальной опасности при «нулевой» аварийности при выборе варианта модели прогнозирования в конфликте «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади и попутные)

Закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках (χ^2 ; критерий Романовского; критерий Мизеса)	Параметр распределения
Нерегулируемый режим ($P_{00} = 1,85$; F -критерий = 3,79)	
Нормальный (22,70; 8,03; 1,05)	$m = 1,850$; $\sigma = 0,654$
Логнормальный (47,60; 18,20; 5,31)	$\mu = 0,556$; $\sigma^2 = 0,118$
Релея (40,80; 11,30; 5,57)	$\sigma = 1,480$
Экспоненциальный (167,0; 51,3; 25,2)	$\lambda = 0,541$

Окончание табл. 2

Закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках (χ^2 ; критерий Романовского; критерий Мизеса)	Параметр распределения
Эрланга (31,90; 11,80; 2,68)	$\lambda = 4,33$; $\kappa = 8,00$
Вейбулла (21,90; 7,73; 1,12)	$B = 3,09$; $\lambda = 9,47$
Равномерное (53,00; 17,30; 302,00)	$A = 0,717$; $B = 2,980$
Регулируемый режим ($P_{00} = 3,79$; F -критерий = 343,60)	
Нормальный (7,520; 2,760; 0,501)	$m = 3,79$; $\sigma = 1,57$
Логнормальный (12,60; 8,20; 4,89)	$\mu = 1,250$; $\sigma^2 = 0,159$
Релея (9,44; 2,63; 1,40)	$\sigma = 3,02$
Экспоненциальный (49,70; 19,10; 8,63)	$\lambda = 0,264$
Эрланга (13,40; 5,70; 2,06)	$\lambda = 1,58$; $\kappa = 6,00$
Вейбулла (7,480; 2,740; 0,792)	$B = 2,58$; $\lambda = 42,60$
Равномерное (8,22; 2,13; 106,00)	$A = 1,06$; $B = 6,52$

Для учета специфики движения пешеходных потоков установлены значения порога чувствительности для методики прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон на регулируемых перекрестках для регулируемых и нерегулируемых режимов движения в конфликтах «поворотный транспорт – пешеход», «транзитный транспорт – пешеход» (табл. 3).

Таблица 3

Законы распределения значений потенциальной опасности при «нулевой» аварийности при выборе варианта модели прогнозирования в конфликтах «поворотный транспорт – пешеход», «транзитный транспорт – пешеход»

Закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках (χ^2 ; критерий Романовского; критерий Мизеса)	Параметр распределения
«Поворотный транспорт – пешеход», нерегулируемый режим ($P_{00} = 0,016$; F -критерий = 347,800)	
Нормальный (25,30; 17,20; 3,75)	$m = 0,0164$; $\sigma = 0,0150$
Логнормальный (2,65; 1,17; 1,37)	$\mu = -4,42$; $\sigma^2 = 0,61$
Релея (8,67; 5,42; 5,47)	$\sigma = 0,0131$
Экспоненциальный (2,790; 0,395; 1,380)	$\lambda = 61,0$
Эрланга (2,79; 1,27; 1,38)	$\lambda = 61,00$; $\kappa = 1,00$

Окончание табл. 3

Закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках (χ^2 ; критерий Романовского; критерий Мизеса)	Параметр распределения
Вейбулла (2,940; 1,370; 0,959)	$B = 1,0900$; $\lambda = 0,0117$
Равномерное (70,9; 27,7; 201,0)	$A = -0,00963$; $B = 0,04240$
«Поворотный транспорт – пешеход», регулируемый режим ($P_{00} = 0,01$; F -критерий = 121,40)	
Нормальный (4,000; 0,407; 2,400)	$m = 0,01030$; $\sigma = 0,00796$
Логнормальный (2,090; 0,771; 4,000)	$\mu = -4,810$; $\sigma^2 = 0,468$
Релея (4,000; 0,407; 2,400)	$\sigma = 0,00822$
Экспоненциальный (3,950; 0,390; 1,400)	$\lambda = 97,0$
Эрланга (1,450; -0,273; 3,100)	$\lambda = 194,00$; $\kappa = 2,00$
Вейбулла (0,100; -0,636; 7,000)	$B = 1,30000$; $\lambda = 0,00284$
Равномерное (1,620; -0,192; 3,700)	$A = -0,00349$; $B = 0,02410$
«Транзитный транспорт – пешеход», нерегулируемый режим ($P_{00} = 0,63$; F -критерий = 466,7)	
Нормальный (61,30; 42,60; 7,42)	$m = 0,630$; $\sigma = 0,829$
Логнормальный (6,89; 4,16; 2,62)	$\mu = -0,964$; $\sigma^2 = 1,000$
Релея (160,00; 112,00; 3,25)	$\sigma = 0,503$
Экспоненциальный (9,62; 6,09; 2,43)	$\lambda = 1,59$
Эрланга (11,90; 7,70; 2,43)	$\lambda = 1,59$; $\kappa = 1,00$
Вейбулла (12,00; 7,78; 5,64)	$B = 0,769$; $\lambda = 0,622$
Равномерное (272; 110; 336)	$A = -0,806$; $B = 2,070$
«Транзитный транспорт – пешеход», регулируемый режим ($P_{00} = 0,82$; F -критерий = 450,1)	
Нормальный (50,60; 35,10; 5,91)	$m = 0,821$; $\sigma = 0,229$
Логнормальный (71,8; 50,0; 14,6)	$\mu = -0,2350$; $\sigma^2 = 0,0751$
Релея (149,00; 59,60; 9,42)	$\sigma = 0,655$
Экспоненциальный (203,0; 81,8; 16,0)	$\lambda = 1,22$
Эрланга (64,10; 44,60; 9,65)	$\lambda = 15,80$; $\kappa = 13,00$
Вейбулла (48,90; 33,90; 6,00)	$B = 4,020$; $\lambda = 0,672$
Равномерное (121,0; 48,3; 43,4)	$A = 0,424$; $B = 1,220$

На рис. 2 представлена зависимость аварийности – столкновения с ударом сзади – от потенциальной опасности регулируемого режима, полученная по методу конфликтных зон.

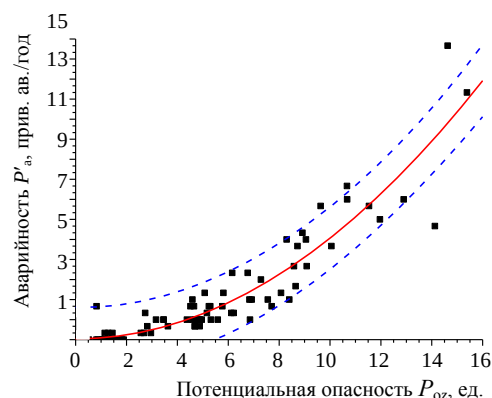


Рис. 2. Зависимость приведенной аварийности – столкновения с ударом сзади – от потенциальной опасности регулируемого режима:
 — — $P'_a = -0,04 - 0,002P_{oz} + 0,05P_{oz}^2$
 ($R = 0,84$; F -критерий = 343,6; $E = 0,59$);
 - - - границы 90%-го доверительного интервала

На рис. 3 показана зависимость аварийности в конфликте «поворотный транспорт – пешеход» от потенциальной опасности регулируемого режима, полученная по методу конфликтных зон.

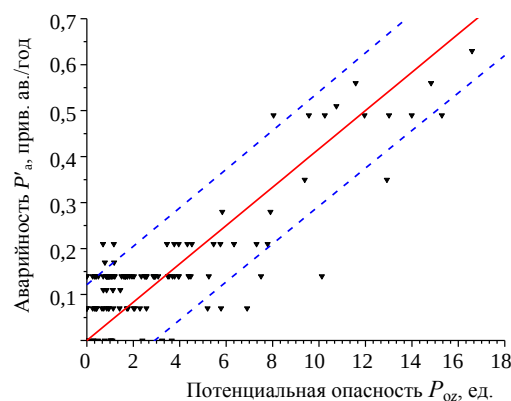


Рис. 3. Зависимость приведенной аварийности в конфликте «поворотный транспорт – пешеход» от потенциальной опасности регулируемого режима:
 — — $P'_a = -0,01 + 0,042P_{oz}$ ($R = 0,71$; $E = 0,74$; $F = 121,4$);
 - - - границы 90%-го доверительного интервала

Поскольку имеются некоторые отличия в характеристике взаимодействия транспорта и пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах при отсутствии и наличии искусственной неровности, были получены соответствующие зависимости приведенной аварийности от потенциальной опасности для данного типового конфликтного объекта. В частности, при наличии искусственной неровности пешеходы переоценивают свою защищенность и принимают несколько больший риск.

В то же время водители нередко одновременно участвуют в трех конфликтах: «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади), «транспорт – дорога» (искусственная неровность) и «транспорт – пешеход», что увеличивает вероятность ошибки. В свою очередь, водитель испытывает две опасности – из-за внезапного снижения скорости ввиду наличия искусственной неровности и из-за появления пешехода на пешеходном переходе. Поэтому при идентичной модели определения потенциальной опасности некоторые зависимости и особенно значимость отдельных групп факторов несколько отличаются.

В результате исследований для методики прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон на искусственных неровностях установлены значения порога чувствительности в конфликте «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади и попутные) и «транзитный транспорт – пешеход» (табл. 4).

Таблица 4

Законы распределения значений потенциальной опасности при «нулевой» аварийности при выборе варианта модели прогнозирования на искусственных неровностях

Закон распределения значений потенциальной опасности в безаварийных конфликтных точках (χ^2 ; критерий Романовского; критерий Мизеса)	Параметр распределения
«Транспорт – транспорт» ($P_{00} = 0,27$; F -критерий = 216,40)	
Нормальный (20,30; 9,15; 2,17)	$m = 0,270$; $\sigma = 0,223$
Логнормальный (3,33; 1,65; 22,90)	$\mu = -1,570$; $\sigma^2 = 0,518$
Релея (12,70; 5,37; 11,20)	$\sigma = 0,216$
Экспоненциальный (6,97; 1,62; 1,65)	$\lambda = 3,7$
Эрланга (6,97; 2,48; 1,65)	$\lambda = 3,70$; $\kappa = 1,00$
Вейбулла (5,90; 1,95; 2,28)	$B = 1,22$; $\lambda = 0,22$
Равномерное (24,90; 8,94; 14,20)	$A = -0,116$; $B = 0,656$
«Транспорт – пешеход» ($P_{00} = 0,91$; F -критерий = 395,80)	
Нормальный (6,760; 4,070; 0,679)	$m = 0,910$; $\sigma = 0,325$
Логнормальный (7,090; 4,300; 0,531)	$\mu = -0,154$; $\sigma^2 = 0,120$
Релея (4,66; 1,33; 1,46)	$\sigma = 0,726$
Экспоненциальный (20,00; 13,50; 6,45)	$\lambda = 1,1$
Эрланга (6,120; 3,620; 0,464)	$\lambda = 8,79$; $\kappa = 8,00$
Вейбулла (5,710; 3,330; 0,576)	$B = 3,06$; $\lambda = 1,06$
Равномерное (9,88; 3,94; 12,80)	$A = 0,347$; $B = 1,470$

Таким образом, установлены значения порога чувствительности потенциальной опасности по каждому виду конфликта для объектов исследования.

На рис. 4 представлена зависимость аварийности – столкновения с ударом сзади – от потенциальной опасности регулируемого режима, полученная по методу конфликтных зон.

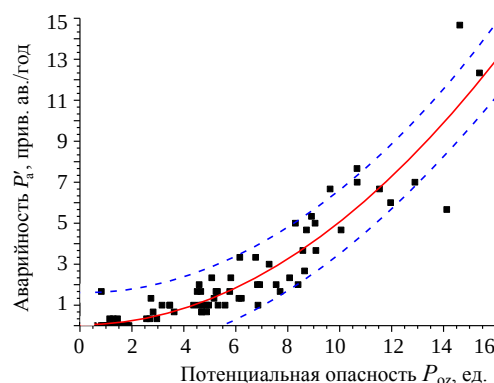


Рис. 4. Зависимость приведенной аварийности – столкновения с ударом сзади – от потенциальной опасности регулируемого режима:

— — $P'_a = 0,04 - 0,002P_{oz} + 0,05P_{oz}^2$

($R = 0,84$; F -критерий = 343,6; $E = 0,59$);

- - - границы 90%-го доверительного интервала

Потенциальная опасность рассчитывалась с помощью программного пакета научно-исследовательского центра дорожного движения БНТУ. В результате после определения значений порога чувствительности потенциальной опасности получены зависимости приведенной аварийности от потенциальной опасности. Все полученные значения F -критерия и коэффициентов корреляции позволяют использовать полученную зависимость в дальнейшем для прогнозирования аварийности и оценки внедряемых мероприятий по критерию безопасности дорожного движения на конфликтных объектах.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены новые зависимости аварийности от потенциальной опасности, которые являются статистически значимыми и имеют точность, достаточную для практических работ по повышению безопасности движения.

2. Разработан комплекс новых методик прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон, включающий три методики прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках в конфликтах «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади и попутные), «поворотный транспорт – пешеход», «транзитный транспорт – пешеход» и две методики прогнозирования аварийности на искусственных неровностях в конфликтах «транспорт – транспорт» (столкновения с ударом сзади и попутные) и «транзитный транспорт – пешеход». Комплекс методик отличается преимуществами, присущими указанному методу прогнозирования, в том числе учитывает большее количество факторов (около 110 параметров), влияющих на аварийность, и дает высокую точность прогноза (примерно в пять раз выше в сравнении с самым современным существующим методом прогнозирования аварийности по потенциальной опасности), что позволяет получить точный прогноз аварийности на указанных объектах на стадиях выбора решений, проектирования, реконструкции или функционирования объекта.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Капский, Д. В.** Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д. В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
2. **Руководство** по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог: ОДМ 218.4.004–2009. – Введ. 01.08.09. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2009. – 118 с.
3. **Пугачев, И. Н.** Организация и безопасность движения: учеб. пособие / И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 2004. – 232 с.
4. **Hydén, C.** Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation / C. Hydén, A. Laureshyn, Å. Svensson // Elsevier, Accident Analysis and Prevention [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access: http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/video_in_traffic/Publications/Laureshyn_Svensson_Hyden_2010.pdf. – Date of access: 30.03.2010.
5. **Laureshyn, A.** Application of automated video analysis to road user behaviour: doctoral thesis / A. Laureshyn. – Lund, 2010. – 202 p.
6. **Кременец, Ю. А.** Технические средства организации дорожного движения: учеб. для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
7. **Врубель, Ю. А.** Организация дорожного движения: в 2 ч. / Ю. А. Врубель. – Минск: Бел. фонд безопасности дорожного движения, 1996. – Ч. 1. – 328 с.
8. **Капский, Д. В.** Совершенствование метода прогнозирования аварийности на регулируемых перекрестках для повышения безопасности дорожного движения: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Д. В. Капский. – Минск, 2003. – 132 л.
9. **Капский, Д. В.** Прогнозирование аварийности в дорожном движении: монография / Д. В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
10. **Капский, Д. В.** Разработка методики прогнозирования аварийности в дорожном движении / Д. В. Капский // Вестник БНТУ. – 2004. – № 5. – С. 41–43.
11. **Капский, Д. В.** Математическое моделирование процессов конфликтного взаимодействия при прогнозировании аварийности в дорожном движении / Д. В. Капский // Устойчивое развитие городов. Управление проектами и программами городского и регионального развития: матер. VI Междунар. науч.-практ. интернет-конф. ХНАГХ. – Харьков, 2008. – С. 227–231.

Поступила 26.04.2012