

УДК 656.1:625.8

ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ СУММАРНОГО РИСКА НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

Д-р техн. наук, профессор **Ю.Э. Васильев**
(Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)),
инженер **С.Г. Меркушов**
(ООО «Зиракс»),
заместитель генерального директора **А.Н. Каменских**,
д-р техн. наук, профессор **А.В. Кочетков**,
инженер **И.В. Чанцев**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)
Конт. информация: chanceviv@rosdornii.ru

Рассмотрены результаты экспертного опроса, анализа и расчета риска доминирующих факторов опасностей на стадии эксплуатации автомобильных дорог на основе суммарного риска на примере выбора технологии пылеподавления при организации производственного эксперимента по обеспыливанию автомобильных дорог общего пользования в Кувандыкском городском округе Оренбургской области. Дана оценка риска недостоверности результатов экспертного опроса наряду с анализом полученных результатов.

Ключевые слова: *риск, оценка риска, анализ риска, обеспыливание, низкая интенсивность, пылеподавление, содержание дорог с низкой интенсивностью.*

В соответствии с пунктом 13 технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) к требованиям безопасности к автомобильным дорогам и дорожным сооружениям на них при их эксплуатации относится своевременное устранение или снижение риска возникновения дорожно-транспортных происшествий и ограничений движения в зависимости от эксплуатационного состояния автомобильной дорог.

В связи с этим была поставлена задача отработки методики расчета суммарного риска причинения вреда на примере выбора технологии пылеподавления для дорог Кувандыкского городского округа Оренбургской области с применением сухих смесей хлоридов кальция и магния с ингибитором коррозии на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) аминной группы.

Ниже представлены результаты выполненной работы относительно автомобильных дорог с переходными и низшими типами дорожных одежд с учетом ряда публикаций [1-14]. В рамках данной работы был проведен экспертный опрос с целью оценки и ранжирования опасностей риска доминирующих факторов опасностей, результаты которого рассмотрены далее.

Результаты экспертного опроса

В опросе приняли участие 17 отобранных независимых экспертов (академиков транспорта, членов Поволжского отделения Российской академии транспорта), в том числе 13 докторов технических наук (профессоров), 2 кандидата технических наук, 2 доктора транспорта. Данная выборка является достоверной и репрезентативной [5, 8, 13].

Все участники опроса аккредитованы в Системе добровольной сертификации подтверждения соответствия и анализа риска как эксперты в области анализа риска причинения вреда по ГОСТ Р 58137-2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла» и имеют соответствующие публикации и защищенные диссертации с учетом анализа риска на всех этапах жизненного цикла автомобильных дорог.

Результаты экспертных оценок и вычислений статистических характеристик приведены в табл. 1 и 2. В табл. 1 указаны наиболее часто встречающиеся факторы опасностей риска. Для данного примера условно принято, что значимости указанных опасностей риска одинаковы. После ранжирования факторов опасностей риска конкретное место в ряду причин соответствует среднему значению степени риска [5, 13].

Применение обобщенной методики расчета суммарного риска [7-13]

Данные, приведенные в табл. 1 и 2, относятся в целом к автомобильным дорогам общего пользования. Что касается автомобильных дорог с переходными и низшими типами дорожных одежд, то, согласно мнению экспертов-участников опроса, наиболее значимыми опасностями для таких одежд являются риск повторного пылеобразования и риск ухудшения водно-теплого режима дорожной конструкции.

Таблица 1

Результаты экспертной оценки степени риска в диапазоне от 1 до 6

№ п/п	Перечень факторов опасностей риска	Оценка степени риска факторов опасностей																
		Эксперт, №																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	<i>Риск снижения экологической опасности</i>	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5
2	<i>Риск снижения прочности дорожной конструкции</i>	4	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	4	5
3	<i>Риск затруднения ремонтных работ</i>	4	4	4	4	5	5	5	5	4	6	5	4	6	5	4	5	6
4	<i>Риск снижения видимости на дороге</i>	5	6	5	5	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5
5	<i>Риск возникновения участков концентрации ДТП</i>	4	5	4	5	6	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	6	5

№ n/n	Перечень факторов опасностей риска	Оценка степени риска факторов опасностей																
		Эксперт, №																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6	<i>Риск ухудшения водно-теплового режима дорожной конструкции</i>	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4	
7	<i>Риск повторного пылеобразования после контрольного периода – 1 месяц</i>	5	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	4	
8	<i>Риск ухудшения состояния селитебной территории</i>	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	
9	<i>Риск ухудшения архитектурной планировки со временем</i>	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	
10	<i>Риск увеличения снегозаносимости дороги</i>	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	8	
11	<i>Риск ухудшения скоростного режима транспортного потока</i>	6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	

Таблица 2

Результаты вычислений статистических характеристик по массиву экспертных оценок степеней риска

<i>№ п/п</i>	<i>Перечень факторов опасностей риска</i>	<i>Среднее значение</i>	<i>Дисперсия</i>	<i>Среднее квадрати- ческое</i>	<i>Кэффи- циент ва- риации</i>	<i>Место в ряду причин</i>
1	<i>Риск увеличения снегозаносимости дороги</i>	5,765	0,532872	0,729981	12,662932	1
2	<i>Риск снижения экологической опасности</i>	5,647	0,2283737	0,477885	8,46254	2
3	<i>Риск ухудшения скоростного режима транспортного потока</i>	5,647	0,2283737	0,477885	8,46254	3
4	<i>Риск снижения прочности дорожной конструкции</i>	5,412	0,4775087	0,69102	12,768848	4
5	<i>Риск ухудшения состояния селитебной территории</i>	5,529	0,2491349	0,499134	9,0268951	5-7
6	<i>Риск ухудшения архитектурной планировки со временем</i>	5,529	0,2491349	0,499134	9,0268951	5-7

<i>№ п/п</i>	<i>Перечень факторов опасностей риска</i>	<i>Среднее значение</i>	<i>Дисперсия</i>	<i>Среднее квадрати- ческое</i>	<i>Кэффи- циент ва- риации</i>	<i>Место в ряду причин</i>
<i>7</i>	<i>Риск снижения видимости на дороге</i>	5,529	0,2491349	0,499134	9,0268951	5-7
<i>8</i>	<i>Риск затруднения ремонтных работ</i>	4,765	0,532872	0,729981	15,320585	8
<i>9</i>	<i>Риск возникновения участков концентрации ДТП</i>	4,471	0,4844291	0,696009	15,568631	9-10
<i>10</i>	<i>Риск повторного пылеобразова- ния после контрольного периода – 1 месяц</i>	4,412	0,2422145	0,492153	11,155467	9-10
<i>11</i>	<i>Риск ухудшения водно-теплового режима дорожной конструкции</i>	4,294	0,2076125	0,455645	10,610913	11

Формула для определения суммарного риска имеет следующий вид:

$$r_{1,2} = r_1 + r_2 - r_1 \cdot r_2 \quad (1)$$

В случае если на участке автомобильной дороги имеется n причин, вызывающих значения риска r_1, r_2, \dots, r_n , то формулу требуется использовать $n - 1$ раз.

В первую очередь по формуле вычисляют суммарный риск $r_{i,j}$ по любым двум значениям риска.

Последующие вычисления выполняют также в соответствии с произвольной индексацией значений риска.

При этом формула примет вид:

$$\sum_1^n r_i = \sum_1^{n-1} r_i + r_n - r_n \cdot \sum_1^{n-1} r_i \quad ; \quad (2)$$

$$10^{-4,412} + 10^{-4,294} - 10^{-4,412} \times 10^{-4,294} = A;$$

$$A + 10^{-4,471} - A \times 10^{-4,471} = B;$$

$$B + 10^{-4,765} - B \times 10^{-4,765} = B;$$

$$B + 10^{-5,529} - B \times 10^{-5,529} = \Gamma;$$

$$\Gamma + 10^{-5,529} - \Gamma \times 10^{-5,529} = \Delta;$$

$$\Delta + 10^{-5,529} - \Delta \times 10^{-5,529} = E;$$

$$E + 10^{-5,412} - E \times 10^{-5,412} = \mathcal{Ж};$$

$$\mathcal{Ж} + 10^{-5,647} - \mathcal{Ж} \times 10^{-5,647} = 3;$$

$$3 + 10^{-5,647} - 3 \times 10^{-5,647} = И;$$

$$И + 10^{-5,765} - И \times 10^{-5,765} = K ,$$

где

K – суммарный риск.

Результаты итерационного расчета с использованием авторской компьютерной программы представлены на **рис. 1**.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Среднее значение	A	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
2	1	4,412										
3	2	4,294	0,00008954									
4	3	4,471		0,00012334								
5	4	4,765			0,00014052							
6	5	5,529				0,0001435						
7	6	5,529					0,0001464					
8	7	5,529						0,0001464				
9	8	5,412							0,00015031			
10	9	5,647								0,0001526		
11	10	5,647									0,0001548	
12	11	5,765										0,00015653
13	Суммарный риск		0,000156533									
14												

Рис.1. Результаты итерационного расчета

Расчет показал, что суммарный риск (0,000156533), принимая во внимание погрешности итерационного вычисления для разных вариантов учета значащих цифр, попадает в диапазон шкалы от 10^{-3} до 10^{-4} и является допустимым.

Анализ риска проводился по теоретической кривой нормального распределения на основе экспериментальных данных. Как правило, при таких оценках количество замеров ориентировочно составляет от 17 до 60.

Была произведена оценка риска недостоверности результатов экспертного опроса. Следует отметить, что такая оценка может быть проведена по *короткому* и *длинному* алгоритмам.

Короткий алгоритм вычисления риска:

1. Вычисляем среднее значение.
2. Вычисляем величину дисперсии.
3. Вычисляем риск как вероятность нежелательного события с учетом площади хвоста гистограммы распределения.

Длинный алгоритм вычисления риска:

1. Вычисляем частоту попадания в интервалы.
2. Строим теоретическую кривую нормального распределения на весь диапазон интервалов.
3. Вычисляем значение риска, с учетом суммирования площади, выходящей за допустимые пределы («хвост» гистограммы распределения).

При помощи авторской компьютерной программы автоматически подсчитывалось количество исходных данных и разбивка на интервалы.

Типовая визуализация расчета риска представлена на **рис. 2**.

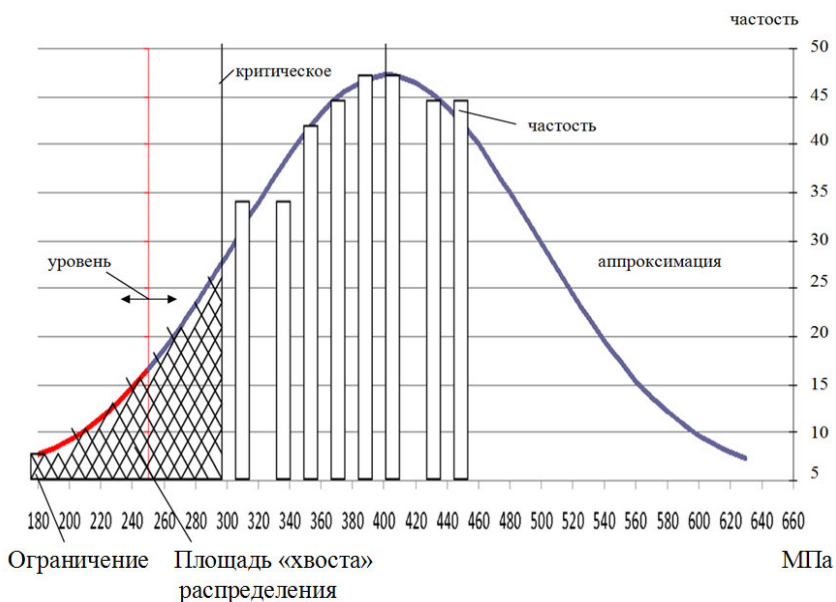


Рис. 2. Визуализация расчета риска
Расчет риска недостоверности результатов экспертного опроса

Расчет риска недостоверности результатов экспертного опроса проводился по программе для выполнения расчета, оценки и анализа технического риска при реализации риск-ориентированного подхода и проверки соответствия «Услуга расчета, оценки и анализа риска» (программа защищена свидетельством регистрации ФИПС Российской Федерации).

Данная программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- введение данных репрезентативной выборки и данных критических значений исследуемого фактора опасности риска;
- расчет среднего квадратического отклонения и дисперсии;
- расчет технического риска;
- подготовку данных для визуализации;
- выведение рассчитанного показателя риска на экран;
- хранение и анализ полученных данных.

Кроме того, программа позволяет определять степень риска в нелинейной десятичной шкале.

Формула площади «хвоста» распределения при расчете риска для показателя проверки соответствия может иметь следующий вид:

$$P = \int_{6,42 - 3\sigma}^{6,42} f(x) dx, \quad (3)$$

где

$f(x)$ – функция аппроксимации законом нормального распределения;

α – одна шестая ширины разброса показателя проверки соответствия;

6,42 МПа – проектное значение (пример).

Визуализация исходного листа программы анализа и расчета риска и репрезентативной выборки представлена на **рис. 3**.

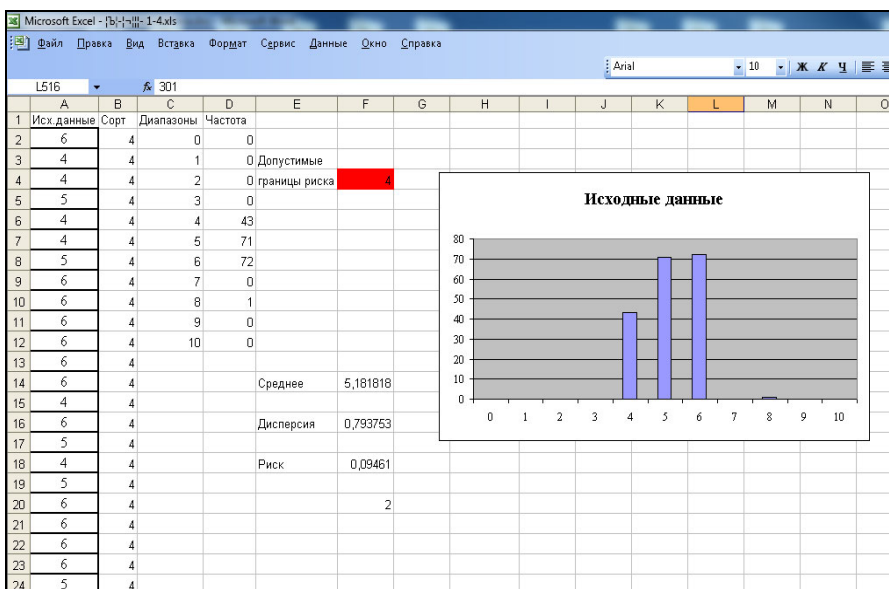


Рис. 3. Визуализация исходного листа программы анализа и расчета риска и репрезентативной выборки

Согласно расчету, значение риска составило 0,09461.

Данное значение находится в диапазоне допустимого риска от 10^{-1} до 10^{-2} .

Это свидетельствует о средней степени однородности данного числового ряда» и допустимом уровне риска погрешности вычисления [5, 9, 14].

Анализ результатов применения методики оценки риска

Представленная методика оценки риска соответствует требованиям ГОСТ Р 58137-2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла» [5].

Данная методика основана на использовании в качестве измерителей среднего, дисперсии и коэффициента вариации показателя дорожной деятельности как показателей однородностей и степени риска.

Рекомендуются применение следующих методов управления рисками:

- метод устранения риска;
- метод компенсации риска;

- метод снижения риска;
- метод передачи риска;
- метод принятия риска [13].

При этом управление рисками рекомендуется осуществлять по установленным и проранжированным факторам опасности.

Таким образом, для компенсации риска в отношении возможности применения технологии обеспыливания автомобильных дорог с переходными и низшими типами дорожных одежд необходимо разработать перечень мероприятий по обеспечению безопасности на этапе эксплуатации объекта, в том числе периодические осмотры и инструментальные обследования.

В результате анализа и расчета рисков принято обоснованное решение об обработке участка автомобильной дороги Кувандыкского городского округа Оренбургской области эффективным обеспыливающим материалом, например, сухими смесями хлоридов кальция и магния с ингибитором коррозии на основе ПАВ аминной группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представлена методика проведения экспертного опроса на этапе проектирования дорожных работ при отсутствии априорной информации группой независимых экспертов.
2. Рассмотрена реализация программы расчета суммарного риска в виде итерационного алгоритма.
3. Анализ риска применения обеспыливающих составов на основе хлоридов кальция и магния показал его допустимость для применения на грунтовых дорогах Оренбургской области. Расчетом установлено, что суммарный риск (0,000156533) с учетом погрешности итерационного вычисления для разных вариантов учета значащих цифр попадает в диапазон шкалы от 10^{-3} до 10^{-4} .

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 39297743-48-2021 Поверхностно-активные вещества «ДОН-А». Технические условия. – Волгоград: ООО «Зиракс», 2021. – 26 с.
2. Технологический регламент «Обеспыливание дорожных покрытий с применением средства для пылеподавления Escorell®». – Волгоград: ООО «Зиракс», 2020. – 15 с.
3. Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) // Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 827. – 30 с.
4. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». // Российская газета, N 255, 31.12.2009. Собрание законодательства Российской Федерации, № 1, 04.01.2010, ст. 5. – 26 с.
5. ГОСТ Р 58137-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла. – М.: Стандартинформ, 2018. – 57 с.
6. ГОСТ Р 113.16.01-2020. Наилучшие доступные технологии. Пылеподавление и предотвращение смерзаемости с применением средств на основе хлористого кальция, хлористого магния и хлористого натрия. – М.: Стандартинформ, 2021. – 34 с.
7. Валиев Ш.Н. Предложения по совершенствованию нормативных документов по оценке надежности, однородности и технических рисков в дорожном хозяйстве Российской Федерации / Ш.Н. Валиев, Н.Е. Кокодеева, А.В. Кочетков и др. // Грузовик. – 2017. – № 1. – С. 44-49.
8. Скачков Ю.П. Научно-методический подход к оценке технических и экологических рисков в процессе применения принципов технического регулирования к объектам дорожной деятельности / Ю.П. Скачков, В.В. Столяров, А.В. Кочетков и др. // Пенза: ПГАСУ, 2012. – 244 с.
9. Столяров В.В. Методические подходы совершенствования нормативного обеспечения технического регулирования дорожного хозяйства с учетом теории риска / В.В. Столяров, Н.В. Щеголева, Ш.Н. Валиев // Грузовик. – 2016. – № 7. – С. 45-48.
10. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: в 2 ч. Ч. 1, Ч. 2. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1994. – 184 с; 232 с.

11. Столяров В.В. Основные формулы теории риска при суммировании логнормальных законов распределения / В.В. Столяров, Н.В. Щеголева, А.В. Кочетков, В.Ю. Задворнов // *Строительные материалы*. – 2018. – № 1-2. – С. 73-80.
12. Валиев Ш.Н. Моделирование риска возникновения дорожно-транспортных происшествий с учетом вариативности макрошероховатости покрытий проезжей части на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях / Ш.Н. Валиев, Н.Е. Кокодеева, А.В. Кочетков, Л.В. Янковский // *Строительные материалы*. – 2016. – № 5. – С. 22-26.
13. Применение риск-ориентированного подхода в дорожном хозяйстве / А.В. Кочетков, В.И. Алферов, В.В. Талалай [Под научной редакцией Ю.Э. Васильева]. – М.: Стройинформиздат, 2020. – 211 с.
14. ОДМ 218.8.009-2017. Методические рекомендации по технологии обеспыливания автомобильных дорог с переходным типом покрытия с использованием битумной эмульсии / Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). – М., 2021. – 68 с.

L I T E R A T U R A

1. STO 39297743-48-2021 Poverhnostno-aktivnyye veshchestva «DON-A». Tekhnicheskie usloviya. – Volgograd: ООО «Ziraks». 2021. – 26 s.
2. Tekhnologicheskij reglament «Obespylivanie dorozhnyh pokrytij s primeneniem sredstva dlya pyl'epodavleniya Ecorell®». – Volgograd: ООО «Ziraks», 2020. – 15 s.
3. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza «Bezopasnost' avtomobil'nyh dorog» (TR TS 014/2011) // Utverzhden resheniem Komisii Tamozhennogo soyuza ot 18 oktyabrya 2011 g. № 827. – 30 s.
4. Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 g. № 384-FZ «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij». // Rossijskaya gazeta, N 255, 31.12.2009. Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii, № 1, 04.01.2010, st. 5. – 26 s.
5. GOST R 58137-2018. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Rukovodstvo po ocenke riska v techenie zhiznennogo cikla. – М.: Standartinform, 2018. – 57 s.
6. GOST R 113.16.01-2020. Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Pylepodavlenie i predotvrashchenie smerzaemosti s primeneniem sredstv na osnove hloristogo kal'ciya, hloristogo magniya i hloristogo natriya. – М.: Standartinform, 2021. – 34 s.

7. Valiev Sh.N. *Predlozheniya po sovershenstvovaniyu normativnyh dokumentov po ocenke nadezhnosti, odnorodnosti i tekhnicheskikh riskov v dorozhnom hozyajstve Rossijskoj Federacii / Sh.N. Valiev, N.E. Kokodeeva, A.V. Kochetkov i dr. // Gruzovik. – 2017. – № 1. – S. 44-49.*
8. Skachkov Yu.P. *Nauchno-metodicheskij podhod k ocenke tekhnicheskikh i ekologicheskikh riskov v processe primeneniya principov tekhnicheskogo regulirovaniya k ob"ektam dorozhnoj deyatel'nosti / Yu.P. Skachkov, V.V. Stolyarov, A.V. Kochetkov i dr. // Penza: PGASU, 2012. – 244 s.*
9. Stolyarov V.V. *Metodicheskie podhody sovershenstvovaniya normativnogo obespecheniya tekhnicheskogo regulirovaniya dorozhnogo hozyajstva s uchetom teorii riska / V.V. Stolyarov, N.V. Shchegoleva, Sh.N. Valiev // Gruzovik. – 2016. – № 7. – S. 45-48.*
10. Stolyarov V.V. *Proektirovanie avtomobil'nyh dorog s uchetom teorii riska: v 2 ch. Ch. 1, Ch. 2. – Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 1994. – 184 s; 232 s.*
11. Stolyarov V.V. *Osnovnye formuly teorii riska pri summirovanii lognormal'nyh zakonov raspredeleniya / V.V. Stolyarov, N.V. Shchegoleva, A.V. Kochetkov, V.Yu. Zadvornov // Stroitel'nye materialy. – 2018. – № 1-2. – S. 73-80.*
12. Valiev Sh.N. *Modelirovanie riska vozniknoveniya dorozhno-transportnyh proisshestvij s uchetom variativnosti makrosferohovatosti pokrytij proezzhej chasti na avtomobil'nyh dorogah i mostovyh sooruzheniyah / Sh.N. Valiev, N.E. Kokodeeva, A.V. Kochetkov, L.V. Yankovskij // Stroitel'nye materialy. – 2016. – № 5. – S. 22-26.*
13. *Primenenie risk-orientirovannogo podhoda v dorozhnom hozyajstve / A.V. Kochetkov, V.I. Alferov, V.V. Talalaj [Pod nauchnoj redakciej Yu.E. Vasil'eva]. – M.: Strojinformizdat, 2020. – 211 s.*
14. ODM 218.8.009-2017. *Metodicheskie rekomendacii po tekhnologii obespylivaniya avtomobil'nyh dorog s perekhodnym tipom pokrytiya s ispol'zovaniem bitumnoj emul'sii / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (ROSAVTODOR). – M., 2021. – 68 s.*

.....
**ASSESSMENT OF REQUIREMENTS FOR ROAD SAFETY
BASED ON THE TOTAL RISK ON THE EXAMPLE OF THE CHOICE
OF DEDUSTING TECHNOLOGY**

*Doctor of Engineering, Professor Yu.E. Vasil'ev
(Moscow Automobile and Road Construction
State Technical University (MADI)),
Engineer S.G. Merkuhov
(«ZIRAX» LLC),
Deputy General Director A.N. Kamenskikh,
Doctor of Engineering, Professor A.V. Kochetkov,
Engineer I.V. Chancev
(FAI «ROSDORNII»)
Contact information: chanceviv@rosdornii.ru*

The article deals with the results of the expert survey, analysis and calculation of the risk of dominant hazard factors during road operation based on the total risk on the example of the choice of dedusting technology when organizing an industrial experiment on dedusting public roads in the Kuvandyk city district of the Orenburg region. The risk assessment of the unreliability of the expert survey results is done, along with the analysis of the obtained results.

Key words: *risk, risk assessment, risk analysis, dedusting, low volume, dust suppression, maintenance of low volume roads, dedusting compositions based on calcium and magnesium chlorides.*

Рецензент: канд. техн. наук А.М. Стрижевский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 18.01.2022 г.