

УДК 504.75.05

СНИЖЕНИЕ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Сухов С.С.¹, Белова Т.И.², Растягаев В.И.¹, Филиппов А.А.²

¹ - Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

² - Брянский государственный аграрный университет, Брянск, Россия

С целью уточнения методики определения величины тормозного пути для определения максимального замедления автомобиля при торможении всеми колесами автотранспортного средства при использовании дифференциального уравнения движения автомобиля была выведена зависимость, которая точнее характеризует величину тормозного пути. Аппроксимация существующих зависимостей, полученных авторами теоретических и экспериментальных исследований, позволили провести сравнительный анализ результатов определения величины тормозного пути автотранспортного средства в зависимости от скорости его движения перед торможением. Предлагаемая методика позволяет учесть факторы дорожных условий эксплуатации автотранспортного средства, влияющих на риск столкновения и снижения уровней травмирования водителей.

Ключевые слова: автотранспортное средство, риск столкновения, тормозной путь, функциональная зависимость, экспериментальное исследование, фактор дорожных условий, эксплуатация.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-435-441

Высокий риск столкновения автотранспортных средств связан с процессом их торможения, т.е. с технической возможностью водителей его предотвратить. Действующая процедура реконструкции таких транспортных происшествий обладает рядом недостатков из-за определения реального тормозного пути, что негативно сказывается на уровне безопасности водителей.

Несовершенство методики определения реального тормозного пути в применении к современным автотранспортным средствам проявляется в достаточно высокой погрешности. Связано это, в первую очередь, с тем, что действующими методиками не предусмотрен учет целого ряда эксплуатационных факторов, влияющих на эффективность срабатывания тормозных систем, которые могут повлиять на итоговое заключение эксперта о возможности водителя предотвратить столкновение при управлении современными автотранспортными средствами, обладающими высокой энерговооруженностью и скоростными возможностями [1].

Снижение риска столкновения автотранспортных средств в изучаемой ситуации обеспечивается за счет совершенствования методики определения реального тормозного пути применительно к современным автотранспортным средствам.

Для оценки эффективности работы рабочей и вспомогательной тормозных систем автотранспортных средств используют три показателя [2]:

- тормозной путь S_T , м;
- установившееся замедление j_T , м/с²;
- время срабатывания тормозной системы t_T , с.

Экспериментально установлено [3], что этими показателями можно достаточно полно характеризовать процесс торможения автотранспортных средств (рис. 1).

Время t_1 зависит от реакции водителя, а также от времени, за которое он принимает решение о торможении и переносит ногу с педали управления подачей топлива на педаль тормоза. Время t_1 зависит от индивидуальных особенностей и квалификации водителя, обычно оно составляет $t_1 = 0,4...1,5$ с. При расчетах принимают $t_1 = 0,8$ с.

Время t_2 зависит от конструкции и технического состояния привода тормозов, а также от времени, за которое выбирается свободный ход педали тормоза и управляющее усилие водителя передается к колесным тормозам. У автотранспортных средств с гидравлическим приводом тормозов $t_2 = 0,2...0,4$ с, с пневматическим приводом $t_2 = 0,6...0,8$ с.

Время t_2 неисправного гидравлического привода (при наличии воздуха в системе или неисправности клапанов в главном тормозном цилиндре) увеличивается, тормоза срабатывают со второго ($t_2 = 0,6$ с) или третьего ($t_2 \leq 1,0$ с) нажатия.

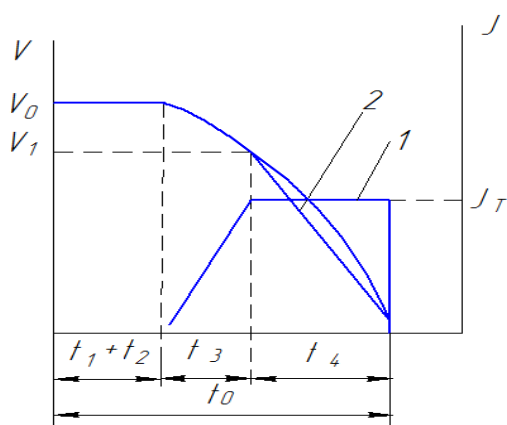


Рис. 1. Торможение транспортного средства:

1 – зависимость ускорения замедления от времени; 2 – зависимость скорости движения автомобиля от времени (t_1 – время принятия водителем решения о торможении; t_2 – время следящего действия тормозной системы автомобиля; t_3 – время, характеризующее тип транспортного средства и состояние дорожного покрытия; t_4 – время торможения с максимальным ускорением (замедлением) t_T ; t_0 – время полной остановки транспортного средства.

У автотранспортных средств с гидроневматическим приводом тормозов (например, на шасси «Урал») $t_2 \leq 0,4$ с. Время t_2 всех приводов уменьшается при более быстром нажатии на педаль тормоза.

Время t_3 зависит от массы автотранспортных средств, типа и состояния дорожного покрытия. При экстренном торможении время t_3 пропорционально массе автотранспортных средств и коэффициенту φ . На дорогах с малым φ масса автотранспортных средств на время t_3 практически не влияет.

Время $t_m = t_2 + t_3$ является одним из трех показателей эффективности работы тормозной системы и определяется при диагностировании автотранспортных средств на тормозном стенде.

Для автотранспортных средств с $3,5m < G < 12m$ время $t_m \leq 1$ с, для автотранспортных средств с $G > 12m$ время $t_m < 1,2$ с [2]. Контролировать t_T при ходо-

вых испытаниях автотранспортных средств сложно.

Время t_4 представляет собой время торможения с максимальным ускорением (замедлением) j_T . За время t_4 кинетическая энергия автотранспортных средств расходуется в основном на работу сил трения тормозов P_f и частично на работу сил сопротивления движению P_B . Если при торможении колеса заблокированы (не вращаются), то работа сил трения происходит только между шиной и поверхностью дороги. Трение в тормозном механизме как поглотитель энергии автотранспортных средств при блокировке колес уже не действует.

Если колеса автотранспортного средства заблокированы, то после преобразований дифференциальное уравнение его движения принимает вид

$$G\delta(dV/dt) = P_K - P_\Sigma, \quad (1)$$

где G – масса автотранспортного средства, кг; δ – коэффициент учета вращающихся масс (колес, деталей трансмиссии) автотранспортного средства ($\delta > 1$); P_K – суммарная тяговая сила ведущих колес, Н; P_Σ – суммарная сила сопротивления движению $P_\Sigma = P_f + P_i + P_B$, Н; P_f – сила сопротивления качению колес, Н; P_i – сила сопротивления подъему автотранспортного средства, Н; P_B – сила сопротивления воздуха, Н.

Для определения максимального замедления автомобиля при торможении всеми колесами воспользуемся общеизвестной формулой из теории движения автомобиля

$$n_d = (30/\pi)(V/r_D)u, \quad (2)$$

где n_d – частота вращения коленчатого вала автомобиля, c^{-1} ; V – скорость автомобиля, м/с; r_D – динамический радиус колеса, м; u – передаточное число агрегатов трансмиссии.

С учетом частоты вращения коленчатого вала двигателя и при $\delta = 1$, $P_K = 0$, $P_f = P_\varphi$, $P_i = P_B = 0$.

Из (1) получим зависимость, определяющую теоретически возможное ускорение замедления

$$j_m = \varphi_{PP}g, \quad (3)$$

где $\varphi_{\text{ПР}}$ – приведенный коэффициент сцепления автомобиля с дорожным покрытием; g - ускорение свободного падения, м/с^2 .

Так как при увеличении буксования колес $\varphi_{\text{ПР}}$ уменьшается, то для увеличения j_m и уменьшения S_m достигать полной блокировки колес при торможении нежелательно.

При торможении сила инерции $P_j = \delta G j$ увеличивает нагрузку на передние колеса и уменьшает на задние.

Наибольшие значения коэффициентов изменения нормальной реакции автотранспортного средства находятся в следующих пределах: $\lambda_{12} = 1,2 \dots 2,0$; $\lambda_{34} = 0,5 \dots 0,7$.

Поэтому для обеспечения торможения с j_m необходимо такое распределение тормозных усилий между передними и задними колесами, при котором блокировка колес происходит одновременно. Так как современные тормозные системы автотранспортных средств не обеспечивают точного соответствия между нормальной реакцией R_n колес и их тормозных усилий, то действительное значение j_m меньше теоретически возможного в $K_{\text{э}} = (1,4 \dots 1,6)$ раз.

Тормозной путь S_m при полной блокировке колес определяется как площадь, ограниченная кривой l за время $t_3 + t_4$ (рис. 1):

$$S_T = \int_{t_1+t_2}^{t_0} V dt = V_0 t_3 - \frac{1}{2}(V_0 - V_1)t_3 + \frac{1}{2}V_1 t_4. \quad (4)$$

После преобразования формулы (4) с учетом формулы (3) и $t_m \leq 1 \dots 1,2$ с формула для определения тормозного пути автотранспортного средства примет вид:

$$S_T = \frac{K_{\text{э}} V_0^2}{2\varphi_{\text{ПР}} g}, \quad (5)$$

где V_0 – скорость автомобиля перед торможением, м/с ; $K_{\text{э}}$ – коэффициент, показывающий насколько действительное значение ускорения замедления при торможении меньше теоретически возможного.

Для определения тормозного пути можно использовать следующую зависимость

$$S_T = \frac{K_{\Gamma} V_0^2}{254(\varphi_{\text{ПР}} + f_K)}, \quad (6)$$

где K_{Γ} – коэффициент гарантии торможения ($K_{\Gamma} = 1,4 \dots 1,7$); f_K - коэффициент сопротивления качения автомобиля.

Согласно [2] нормативную длину тормозного пути S_T для торможения автотранспортного средства с начальной скоростью V_0 допускается рассчитывать по формуле

$$S_T = AV_0 + \frac{V_0^2}{26j_{\text{уст}}}, \quad (7)$$

где $j_{\text{уст}}$ - установившееся замедление, м/с^2 ; A - коэффициент, характеризующий время срабатывания тормозной системы.

При пересчетах нормативов тормозного пути следует использовать значения коэффициента A и установившегося замедления $j_{\text{уст}}$ для различных категорий автотранспортных средств, приведенные в табл. 1 [2].

Используя зависимость (3), тормозной путь можно представить в виде:

$$S_T = AV_0 + \frac{V_0^2}{26\varphi_{\text{ПР}} g}. \quad (8)$$

Приведенные функциональные зависимости и данные экспериментальных исследований [4-7] позволили сделать сравнительный анализ результатов определения тормозного пути при движении автотранспортных средств по асфальтированной дороге с коэффициентом сцепления $\varphi_{\text{ПР}} = 0,75$ (табл. 2) с использованием аппроксимирующих выражений:

$$S_{T1} = -0,00001 \mathcal{V}^3 + 0,01035 \mathcal{V}^2 + 0,07148 \mathcal{V} + 1,07833; \quad (9)$$

$$S_{T2} = 0,0056 \mathcal{V}^2 + 0,15 \mathcal{V}; \quad (10)$$

$$S_{T3} = 0,0085 \mathcal{V}^2 - 0,00043 \mathcal{V} + 0,0081; \quad (11)$$

$$S_{T4} = 0,00007 \mathcal{V}^3 - 0,00047 \mathcal{V}^2 + 0,35984 \mathcal{V} - 4,74976; \quad (12)$$

$$S_{T5} = 0,00078 \mathcal{V}^3 - 0,0931 \mathcal{V}^2 + 4,31746 \mathcal{V} - 58,76191; \quad (13)$$

$$S_{T6} = 0,00056 \mathcal{V}^3 - 0,06786 \mathcal{V}^2 + 3,17778 \mathcal{V} - 43,28571; \quad (14)$$

$$S_{T7} = -0,00011 \mathcal{V}^3 + 0,02214 \mathcal{V}^2 - 3,52698 \mathcal{V} + 6,92857; \quad (15)$$

$$S_{T8} = 0,00078 \mathcal{V}^3 - 0,09786 \mathcal{V}^2 + 4,44603 \mathcal{V} - 60,35714. \quad (16)$$

Таблица 1

Исходные данные для расчета тормозного пути автотранспортного средства в снаряженном состоянии для различных категорий

Наименование	Категория	Исходные данные для расчета тормозного пути автотранспортного средства в снаряженном состоянии	
		A	$j_{уст}, \text{м/с}^2$
Пассажирские и грузопассажирские автомобили	M_1	0,10	5,2
	M_2, M_3	0,15	4,5
Легковые автомобили с прицепом	M_1	0,10	5,2
Грузовые автомобили	N_1, N_2, N_3	0,15	4,5
Грузовые автомобили с прицепом (полуприцепом)	N_1, N_2, N_3	0,10	4,5

Таблица 2

Сравнительный анализ результатов определения тормозного пути

Величина тормозного пути, м		Скорость движения, км/час						
		30	35	40	45	50	55	60
Функциональные зависимости		Результаты существующих теоретических исследований						
1	$S_T = \frac{K \mathcal{E} V_0^2}{2\phi g}$	7,55	10,32	13,45	16,98	20,96	25,46	30,52
2	$S_T = \frac{k_T V_0^2}{254(\phi_{ПП} + f_K)}$	7,65	10,41	13,60	17,21	21,25	25,71	30,60
3	$S_T = AV_0 + \frac{V_0^2}{26j_{уст}}$	12,18	15,69	19,65	24,04	28,87	34,11	39,76
4	$S_T = AV_0 + \frac{V_0^2}{26\phi g}$	9,54	12,11	14,96	18,09	21,50	25,19	29,16
Объект исследований		Результаты экспериментальных исследований						
5	ЗИЛ (груженный)	7,98	11,65	14,76	17,88	21,60	26,49	33,14
6	ЗИЛ (порожний)	5,98	8,63	10,81	12,93	15,40	18,65	23,10
7	КамАЗ (груженный)	8,05	10,85	14,17	17,93	22,05	26,44	31,02
8	КамАЗ (порожний)	5,95	8,73	10,69	12,43	14,52	17,56	22,12

По данным табл. 2 строим графические зависимости (9-16) длины тормозного пути $S_T = f(V_0)$

Согласно [8-10] полученные оптимальные значения скорости движения автотранспортных средств, при которых риск их столкно-

вения будет минимальным, и зависимости (1-8) заносятся в бортовой компьютер, где соответствующая программа выбирает ту зависимость, при которой снижается риск столкновения и обеспечивается максимальная безопасность водителя.

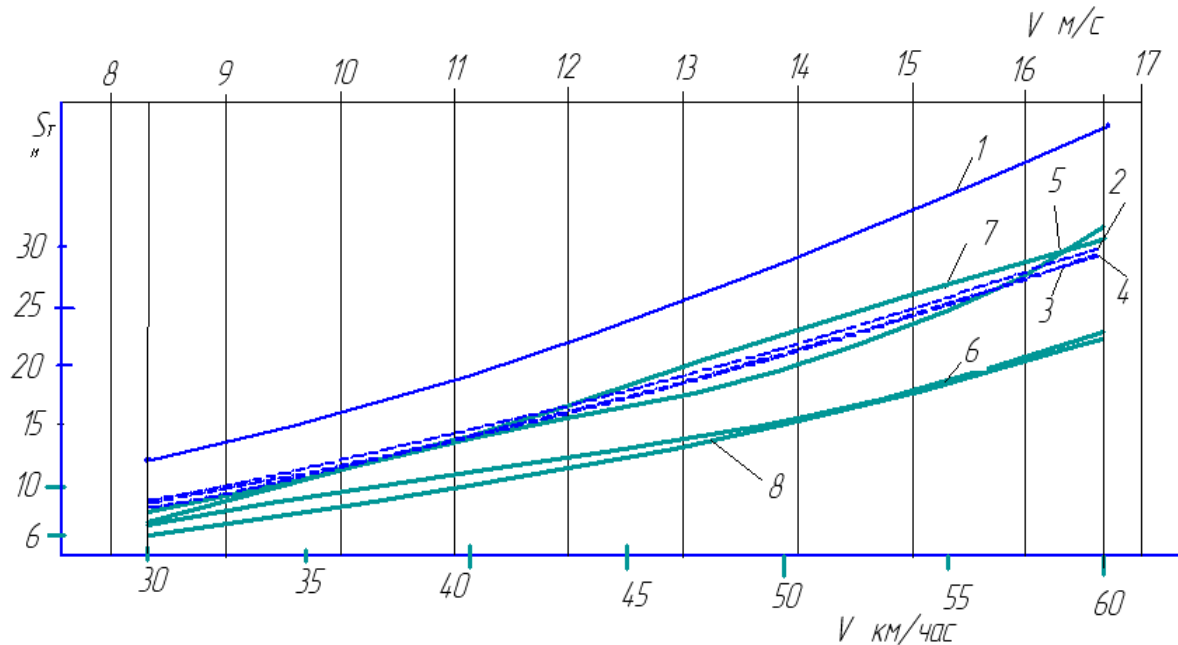


Рис. 2. Графическая интерпретация сравнительного анализа результатов определения тормозного пути автотранспортных средств: 1-4 - результаты теоретических исследований; 5-8 - результаты экспериментальных исследований

Исходя из выше изложенного:

- несмотря на значительные научные и опытно-конструкторские разработки проблема обеспечения безопасности водителей автотранспортных средств остается актуальной по причине недостаточного учета факторов дорожных условий их эксплуатации;
- анализ существующих способов определения тормозного пути транспортного средства показал, что его оценку проводят расчетно-аналитическим и экспериментальным способами, результаты использования которых недостаточно точны и эффективны;
- предлагаемая методика позволяет учесть факторы дорожных условий эксплуатации автотранспортных средств, влияющих на риск столкновения и снижения уровней травмирования водителей.

Список литературы

1. Подопригора, Н.В. Методика определения параметра процесса торможения автотранспортных средств при реконструкции и экспертизе дорожно-транспортных происшествий: автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.10 / Н.В. Подопригора. – С-Пб, 2013. – 22 с.

2. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки.

3. Иларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В.А. Иларионов. - М.: Транспорт, 1989. – 255 с.

4. Белова, Т.И. Выбор параметров с целью оптимизации условий функционирования самоходных транспортных машин / Т.И. Белова, С.С. Сухов, Л.М. Маркарянц, А.А. Филиппов // Вестник МАНЭБ. – 2010. - Т.15. - № 4. - С. 103-108.

5. Белова, Т.И. Получение оптимальных и допускаемых параметров процессов функционирования системы транспортных средств в условиях группового движения / Т.И. Белова, С.С. Сухов, Е.М. Агашков, А.А. Филиппов // Научное обозрение. - 2012. - № 6. – С. 320-324.

6. Белова, Т.И. Повышение безопасности труда операторов самоходных транспортных машин в условиях асфальтового покрытия / Т.И. Белова, С.С. Сухов, Л.М. Маркарянц, А.А. Филиппов // Вестник МАНЭБ. – 2012. - Т.17. - № 3. - С. 100-105.

7. Белова, Т.И. Обеспечение безопасности операторов самоходных транспортных машин / Т.И. Белова, С.С. Сухов, В.И. Растягав, А.А. Филиппов // Проблемы энергообес-

печения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК: Междунар. научно-техн. конф. – Брянск: БГСХА, 2014. – С. 37-45.

8. Пат. РФ 2534689. Устройство определения тормозного пути транспортного средства / Белова Т.И., Гаврищук В.И., Сухов С.С., Филиппов А.А., Агашков Е.М., Кончиц С.В., Кровопускова В.Н. – Оpubл. 10.12.2014. - Бюл. № 34.

9. Белова, Т.И. Технические средства обеспечения безопасности транспортных средств / В.Т. Смирнов, Р.В. Шкрабак, С.С. Сухов, С.В. Кончиц // Глобализация и развитие агропромышленного комплекса России: Сб. научн. тр. междунар. научно-практ. конф., посв. 110-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - СПб.: СПбГАУ, 2014. – С. 142-145.

10. Белова, Т.И. Обеспечение безопасности операторов транспортных работ / Т.И. Белова, С.С. Сухов, А.А. Филиппов, С.В. Кончиц // Актуальные вопросы эксплуатации современных систем энергообеспечения и при-

родопользования: IX Междунар. научно-техн. конф. – Брянск: БГСХА, 2015. – С. 16-24.

Сведения об авторах

Сухов Сергей Сергеевич - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», bgd_cc@bk.ru.

Белова Татьяна Ивановна - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», belova911@mail.ru.

Растягаев Владимир Иванович - кандидат технических наук, доцент, доцент безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского».

Филиппов Александр Алексеевич – соискатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», vlada_alex77@mail.ru.

REDUCING THE RISK OF COLLISION OF VEHICLES

Sukhov S.S.¹, Belova T.I.², Rastegaev V.I.¹, Filippov A.A.²

¹ - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

² - Bryansk state agricultural University", Bryansk, Russian Federation

In order to clarify the method of determining the value of the braking distance to determine the maximum deceleration of the vehicle by braking all wheels ATS when using the differential equation of motion of the car was removed dependence, which more precisely characterizes the size of tor brake way. Approximation of existing dependencies, obtained by the authors of theoretical and experimental researches allows to make a comparative analysis of the results determine the stopping distance of a PBX depending on its velocity before braking. The offered technique allows to take into account the factors of road conditions the operation of the exchange that affect the risk of collision and reduce injuries to drivers.

Keywords: auto-vehicle, risk of collision, braking distance, functional dependence, experimental study, factors road conditions the operation of the exchange.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-04-435-441

References

1. Podoprigora N.V. Metodika opredeleniya parametra processa tormozheniya avtotransportnykh sredstv pri rekonstruktsii i ekspertize dorozhno-transportnykh proisshestviy. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Saint-Petersburg, 2013. 22 p. (In Russian)
2. GOST R 51709-2001. Auto-vehicles. Safety requirements to technical conditions and test methods. (In Russian)
3. Ilarionov V.A. Examination of road accidents. Moscow, Transport, 1989. 255 p. (In Russian)
4. Belova T.I., Sukhov S.S., Markaryants L.M., Filippov A.A. Selection of parameters to optimize conditions for the functioning of self-propelled vehicles. *Vestnik MANEB*, 2010, Vol. 15, No. 4, pp. 103-108. (In Russian)
5. Belova T.I., Sukhov S.S., Agashkov E.M., Filippov A.A. Obtaining the optimal and permissible parameters of the process operation of the system of vehicles in terms of group motion. *Scientific review*, 2012, No. 6, pp. 320-324. (In Russian)
6. Belova T.I., Sukhov S.S., Markaryants L.M., Filippov A.A. Improving the safety of work of operators of self-propelled transport vehicles in conditions of asphalt pavement. *Vestnik MANEB*, 2012, Vol. 17, No. 3, pp. 100-105. (In Russian)
7. Belova T.I., Sukhov S.S., Rastegaev V.I., Filippov A.A. Security operators of self-propelled vehicles. The problems of energy, information and automation, security and environmental management in agriculture: international scientific and technical conference. Bryansk, BGSKhA, 2014, pp. 37-45. (In Russian)
8. Patent 2534689 Russian Federation. The device determine the braking distance of the vehicle. Belova T.I., Gavryshchuk V.I., Sukhov S.S., Filippov A.A., Agarkov E.M., Konchits S.V., Krovopuskova N. Published 10.12.2014. Bulletin No. 34. (In Russian)
9. Belova T.I., Smirnov V.T., Shkrabak R.V., Sukhov S.S., Konchits S.V. Technical security of vehicles. Globalization and development of agro-industrial complex of Russia: Proceeding of International scientific-practical conference dedicated to the 110th anniversary of Saint-Petersburg State Agrarian University. Saint-Petersburg, SPbSAU, 2014, pp. 142-145. (In Russian)
10. Belova T.I., Sukhov S.S., Filippov A.A., Konchits S.V. Ensuring the safety of operators of transport works. Actual problems of operation of modern systems of energy supply and environmental management: IX International scientific-technical conference. Bryansk, BGSKhA, 2015, pp. 16-24. (In Russian)

Authors' information

Sergey S. Sukhov - Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Head of chair of safety at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, bgd_cc@bk.ru.

Tatyana I. Belova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of chair of safety at Bryansk State Agricultural University, belova911@mail.ru.

Vladimir I. Rastegaev - Candidate of Technical Sciences, Associate professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University.

Alexander A. Filippov – applicant at Bryansk State Agricultural University, vlada_alex77@mail.ru.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
07.09.2017

Дата публикации
(Date of publication):
25.12.2017

