

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВАДС) В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

С.С. Сайдуллозода¹, К.Т. Мамбеталин¹, А.М. Умирзоков², У.М. Маллабоев³

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

²Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Республика Таджикистан,

³Тюменский индустриальный университет, Тобольский индустриальный институт (филиал), г. Тобольск, Россия

В статье приведена оценка факторов, влияющих на надежность системы ВАДС в горных условиях. Предложена более подробная классификация факторов, влияющих на надежность системы ВАДС в горных условиях по таким группам признаков, как конструкторско-технологическая, эксплуатационная и дорожно-климатическая. Кроме того, в статье изложена классификация факторов, влияющих на надежность системы ВАДС в горных условиях по признаку управляемости. В классификациях уделено особое значение таким факторам, как высота над уровнем моря, структура надежности элементов системы ВАДС, структура надежности элементов автомобиля, как подсистемы системы ВАДС, вероятностный характер влияния внешних воздействий на элементы автомобиля, виды и частота маневров, их динамичность и т. д. Проанализирована и обоснована специфика влияния основных факторов, определяющих безотказность и долговечность большегрузных карьерных автомобилей в сложных и экстремальных условиях грузоперевозки в горных условиях. Для оценки влияния стохастического характера внешних воздействий, определяющих динамику взаимодействия автомобиля с дорожным полотном, в зависимости от объема выборки, характера протекания процесса, состояния исследуемого объекта и других факторов, выбраны наиболее рациональные методы, основанные на теории вероятностей. Три из них рекомендованы для адекватной оценки влияния внешних воздействий на выходные показатели автомобиля, в частности для оценки процесса взаимодействия автомобиля с дорожным полотном, имеющего вероятностный характер. К числу рекомендованных методов оценки принадлежат такие методы, как метод аппроксимации внешней нагрузки периодической функцией типа синусоиды с определенными значениями амплитуды и периода колебаний, метод разложения периодической функции в ряды Фурье и вероятностно-статистический метод, который основан на учете действия множества случайных факторов, характеризующихся устойчивой частотой.

Ключевые слова: система ВАДС, надежность, структура надежности, вероятностно-статистический метод, ряды Фурье.

Введение

Система ВАДС – это большая и сложная система, в которой автомобиль, являясь основополагающим и наиболее уязвимым элементом, выступает доминирующим фактором в формировании надежности системы.

Сложность системы ВАДС заключается в том, что она содержит неоднозначные отношения и закономерности взаимосвязи между ее элементами, система многокритериальная и процессы, протекающие в ней, имеют стохастический характер, сложно моделировать систему ВАДС. Систему ВАДС можно отнести к категории сложной из-за ее многомерности, многообразия природы элементов, связей, разнородности структуры, а также из-за того, что система функционирует в условиях существенной неопределенности воздействия среды. Ее сложность усугубляется случайным характером изменения ее показателей [1–3].

В системе ВАДС почти всем входным и выходным параметрам свойственна стохастичность. Стохастичность надежности системы ВАДС формируется из вероятностного характера надежности каждого из ее компонентов. Особенно четко проявляется вероятностный характер надежности системы ВАДС в условиях эксплуатации большегрузных автомобилей в горных регионах на автомобильных дорогах с гравийным покрытием. Среди элементов системы ВАДС подсистема

«автомобиль» является доминирующим элементом, определяющим сложный стохастический характер системы в целом. Основным оценочным параметром уровня стохастичности выступает колебание тягового сопротивления автомобиля, которое обусловлено такими факторами, как неравномерность крутящего и тормозного моментов, скорость движения автомобиля, сложность рельефа местности, профиль дороги и состояние дорожного покрытия, случайность распределения нормальной нагрузки по осям и колесам автомобиля, а также частота маневров и др.

Материалы и методы

В зависимости от конструкторско-технологических особенностей, эксплуатационных режимов и дорожно-климатических условий динамика процесса взаимодействия автомобиля с дорогой может быть различной. В то же время, в зависимости от количества действующих на автомобиль внешних нагрузок, их весомости, характера действия и динамичности, взаимодействие между автомобилем и дорогой условно можно отнести к простому, среднему и сложному. Что касается характера взаимодействия большегрузного самосвала с карьерной дорогой в условиях высокогорья, то ее однозначно можно отнести к категории сложной, зависящей от большого количества разнообразных факторов и варьирующихся в довольно широких пределах. При этом нужно принимать во внимание тот факт, что в процессе эксплуатации автомобилей в горных условиях появляются новые факторы, существенно отличающиеся от факторов, встречающихся в равнинных условиях [4–6]. К таким факторам можно отнести вероятностный характер внешних воздействий, особенности дорожного покрытия, высоту над уровнем моря, своеобразный профиль дороги, состояние погрузочной площадки и др. Факторы, влияющие на надежность системы ВАДС в горных условиях, можно условно разделить на три группы: конструкторско-технологические, эксплуатационные и дорожно-климатические (рис. 1).

Действия конструкторско-технологических факторов по составу и структуре влияния на надежность карьерных автомобилей усугубляются в сложных и экстремальных условиях их эксплуатации в горных и высокогорных дорогах [7, 8].

Дорожно-климатические условия относятся к числу важных факторов, формирующих надежность системы ВАДС в горных условиях, для которых характерны вероятностная природа параметров, обусловленная высотой над уровнем моря, неровностью дорожного полотна, сложной геометрией дороги в плане и профиле, частотой маневров, мастерством вождения и т. д.

По признаку управляемости факторы, влияющие на надежность системы ВАДС в горных условиях, уместным будет разделить на три категории: полностью управляемые, частично управляемые и неуправляемые (рис. 2). Классификация по признаку управляемости существенно отличается от классификации по причинно-следственному признаку. Несмотря на отличия, эти две классификации имеют большое практическое значение для нахождения способов повышения надежности системы ВАДС.

К наиболее значимым факторам, определяющим надежность системы ВАДС в горных условиях, по причинно-следственному признаку можно отнести эксплуатационные и дорожно-климатические факторы, а по признаку управляемости – частично управляемые и неуправляемые факторы.

Из дорожно-климатических факторов, характерных для горных условий и существенным образом сокращающих надежность системы ВАДС, можно выделить такие факторы, как рельеф местности, профиль дороги, тип дорожного покрытия и его состояние, температура окружающей среды и высота над уровнем моря [9, 10].

Продольный профиль горных карьерных дорог представляет собой чередование подъемов и спусков разной величины и длины, сложность которой обусловлена следующими обстоятельствами:

- достаточно большой разницей высоты над уровнем моря на отдельных участках автодороги, где продольные уклоны дорог достигают до 10 %;
- строительством автомобильной дороги на горных склонах, где выбор маршрута строящейся дороги диктуется сложным горным рельефом и ландшафтом;
- случайным расположением погрузочной площадки и др.

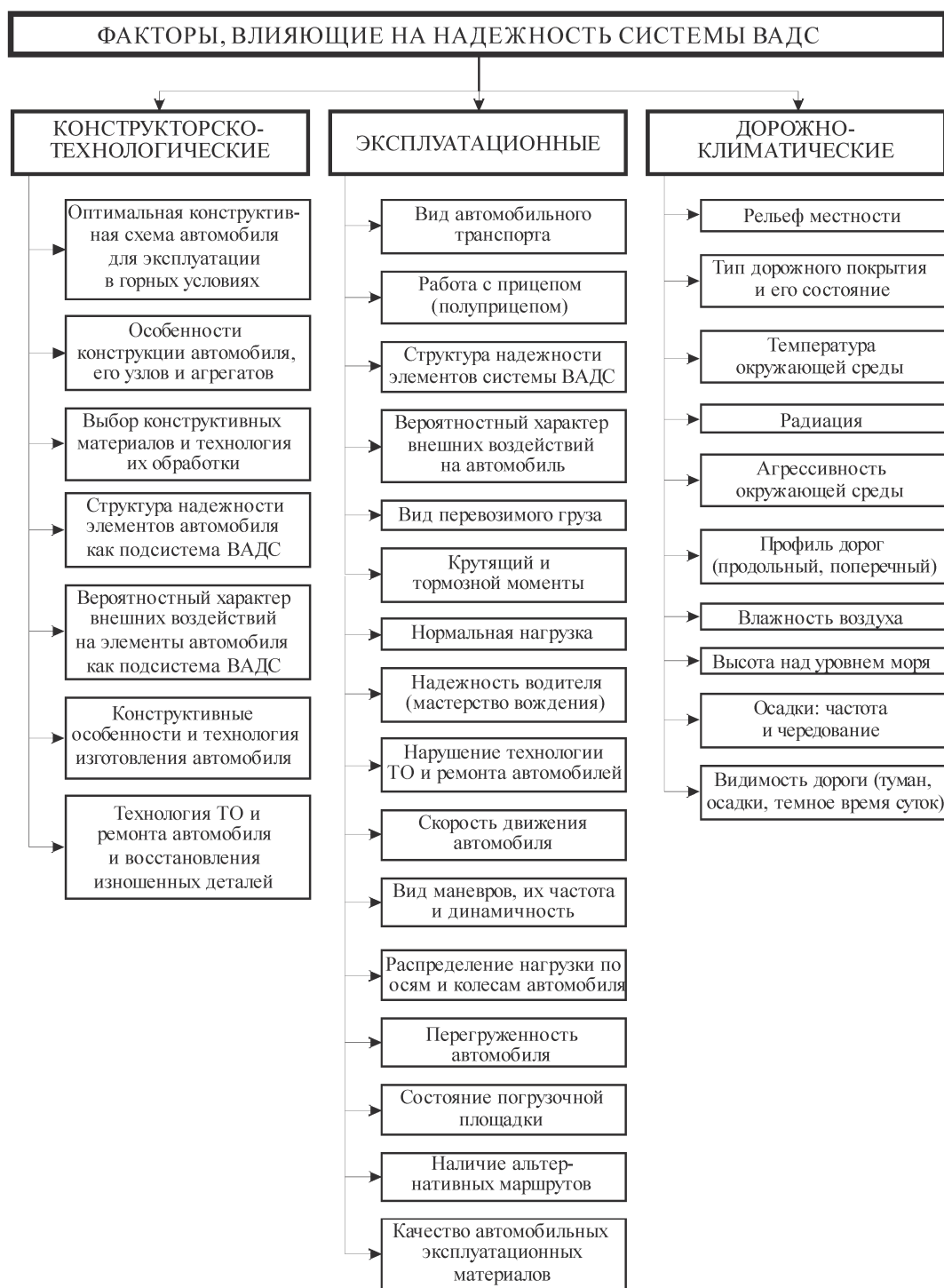


Рис. 1. Классификация факторов, влияющих на надежность системы ВАДС в горных условиях по причинно-следственному признаку

Из множества факторов, определяющих надежность системы ВАДС в сложных дорожно-климатических условиях, немаловажным фактором выступает вероятностный характер взаимодействия элементов системы между собой. Строго говоря, все факторы, определяющие надежность системы ВАДС в сложных дорожно-климатических условиях, так или иначе, имеют вероятностный характер или колеблются случайным образом. Несмотря на это, основным фактором, формирующим сложный стохастический характер внешних воздействий на автомобиль при выполнении им транспортных работ, выступает колебание тягового сопротивления автомобиля.



Рис. 2. Классификация факторов, влияющих на надежность системы ВАДС в горных условиях по признаку управляемости

Колебания сил сопротивления автомобиля в процессе выполнения им транспортных работ в горных дорожно-климатических условиях, согласно предложению академика В.Н. Болтинского, можно разделить на две категории [11]:

– высокочастотные (кратковременные периодические колебания с периодом $T \leq 1...2$ с и незначительной амплитудой), которые преодолеваются инерцией масс большегрузного автомобиля и практически не сказываются на колебаниях его тягового сопротивления;

– низкочастотные (колебания с периодом $T \geq 1...2$ с), обусловленные в основном совместным проявлением вышеназванных факторов, которые существенно сказываются на колебаниях тягового сопротивления автомобиля. К ним относятся: неравномерность моментов на колесах, скорость движения автомобиля, сложный рельеф местности, профиль дороги и экстремальное состояние дорожного покрытия, случайное распределение нормальной нагрузки по осям и колесам автомобиля, а также частота маневров и др.

При вероятностном характере внешних воздействий на автомобиль контакт между автомобилем и дорожным полотном осуществляется в нестабильном и динамичном режиме, что в значительной мере способствует развитию и ускорению процесса снижения энергетических, технико-экономических показателей, а также его безотказности и долговечности. Снижение же зависит от значения коэффициента вариации крутящего момента на колесе и тягового усилия автомобиля. Можно предположить, что коэффициент вариации автомобиля может находиться в пределах

Расчет и конструирование

10–15 % в зависимости от сложности условий эксплуатации (увеличивается с повышением нагрузки). При этом энергетические и технико-экономические показатели, а также безотказность и долговечность автомобилей снизятся до 10 %.

Оценка влияния колебаний внешних воздействий, определяющих динамику взаимодействия автомобиля с дорожным полотном, в зависимости от объема выборки, характера протекания процесса, состояния исследуемого объекта и других факторов, осуществляется несколькими методами, основанными на теории вероятностей. Три из них можно рекомендовать для адекватной оценки влияния внешних воздействий на выходные показатели автомобиля, в частности для оценки процесса взаимодействия автомобиля с дорожным полотном, имеющего вероятностный характер [11, 12]:

- метод аппроксимации внешней нагрузки периодической функцией типа синусоиды с определенными значениями амплитуды и периода колебаний;
- метод разложения периодической функции в ряды Фурье;
- вероятностно-статистический метод, который основан на учете действия множества случайных факторов, которые характеризуются устойчивой частотой.

Первый метод, предложенный академиком В.Н. Болтинским для моделирования действия неустановившейся внешней нагрузки на сельскохозяйственный агрегат с использованием периодической функции при фиксированных значениях амплитуды A_m и периода T_m колебаний, можно применять для моделирования действия неустановившейся внешней нагрузки (крутящего момента, мощности) на колеса автомобиля, т. е.:

$$M_t(t) = \bar{M}_k + A_m \sin mt = \bar{M}_k (1 + 0,5\delta_m \sin mt), \quad (1)$$

где $\bar{M}_k = 0,5(M_{\max} + M_{\min})$ – среднее значение момента сопротивления на колесах автомобиля; $A_m = 0,5\bar{M}_k\delta_m$ – амплитуда колебаний; $\delta_m = 2A_m/\bar{M}_k$ – степень неравномерности величины M_k ; $m = 2\pi/T_m$ – частота периодического колебания; T_m – период колебаний величины M_k ; $M_{\max} = \bar{M}_k(1 + 0,5\delta_m)$ и $M_{\min} = \bar{M}_k(1 - 0,5\delta_m)$ – максимальное и минимальное значения момента сопротивления на колесах автомобиля.

Во втором методе предлагается оценка влияния внешних воздействий по методу разложения периодической функции в ряды Фурье, сущность которого заключается в следующем: если периодическая функция $f(t)$ с периодом T_o удовлетворяет условиям Дирихле, то ее можно аппроксимировать выражением:

$$f(t) = A_o + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos k\omega_o t + B_k \sin k\omega_o t), \quad (2)$$

где A_o – постоянное слагаемое (среднее значение функции); k – порядок внешней гармоник ($k = 0; 1; 2; \dots; \infty$); A_k и B_k – коэффициенты тригонометрического ряда Фурье; $\omega_o = 2\pi/T_o$ – круговая частота основной гармоник; t – период основной гармоник, равный периоду функции.

Коэффициенты A_o , A_k и B_k определяются из выражений:

$$A_o = \frac{1}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} f(t) dt; A_k = \frac{2}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} f(t) \cos \omega_o t dt; B_k = \frac{2}{T_o} \int_{-T_o/2}^{T_o/2} f(t) \sin \omega_o t dt. \quad (3)$$

Для достижения требуемой точности и упрощения оценки влияния внешних воздействий на автомобиль по второму методу во многих случаях достаточно рассматривать первые 10 ... 12 гармоник периодической функции $f(t)$.

Работу автомобиля в горных условиях эксплуатации можно оценивать комплексным вероятностно-статистическим методом с помощью аналитических зависимостей по детерминированным (стендовым) характеристикам автомобиля.

Для определения мощности автомобиля или крутящего момента на колесах автомобиля в эксплуатационных условиях можно применить формулу, предложенную профессором С.И. Иофиновым [13–16]

$$N^3 = N_s \cdot \lambda_d \cdot \lambda_t \cdot \lambda_v, \quad (4)$$

где N_s – эксплуатационная мощность автомобиля по стендовой (детерминированной) характеристике; λ_d – динамический коэффициент (предложен академиком В.Н. Болтинским), который учитывает снижение мощности автомобиля в неустановившихся нагрузках; λ_t – временной коэффициент, который учитывает снижение мощности автомобиля, вызванное износом, регулировками и старением автомобиля; λ_v – вероятностный коэффициент, который учитывает изменение мощности автомобиля, вызванное вероятностным характером факторов, определяющих пробег большегрузных автомобилей в горных условиях.

Для определения основных вероятностно-статистических оценок влияния факторов, опреде-

ляющих пробег автомобиля в сложных дорожно-климатических условиях эксплуатации целесообразно пользоваться методом функций случайных аргументов, при котором входная x и выходная y переменная величины определяются детерминированной функциональной зависимостью $y_i = f(x)$, которая устанавливается в процессе аппроксимации типовой (стендовой) характеристики автомобиля [17–20].

При вероятностном характере факторов, влияющих на работу автомобиля входные x_i и выходные y_i переменные представляют собой случайные величины, количественные характеристики которых, в общем случае, рассчитываются по следующим формулам:

$$- \text{среднее значение } \bar{y} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\varphi(x) d(x); \quad (5)$$

$$- \text{дисперсия } D(y) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(x) - \bar{y}]^2 \varphi(y) d(x); \quad (6)$$

$$- \text{среднее квадратичное отклонение (стандарт) } \sigma_y = [D(y)]^{1/2}; \quad (7)$$

$$- \text{коэффициент вариации } v_y = \sigma_y / \bar{y}. \quad (8)$$

Следует отметить, что низкочастотные составляющие эксплуатационных и дорожно-климатических факторов изменяются по нормальному закону распределения $y = f(x)$, плотность распределения вероятностей которого рассчитывается из выражения

$$\varphi(x) = (\sigma_x \sqrt{2\pi})^{-1} \exp \left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2} \right], \quad (9)$$

где \bar{x} , σ_x и σ_x^2 – соответственно среднее значение, среднее квадратичное отклонение и дисперсия случайной величины x .

Таким образом, для получения основных оценок надежности системы ВАДС, и в частности надежности и долговечности автомобилей с учетом вероятностно-статистического характера факторов необходимо установить законы распределения входных $\varphi(x)$ и выходных $\varphi(y)$ переменных, а также функции связи $f(x)$, входящие в выражения (5)–(9).

Выводы

- Факторы, относящиеся к эксплуатационным и дорожно-климатическим группам и определяющие надежность системы ВАДС, почти никогда не проявляются по отдельности, а в большинстве случаев имеет место сложное сочетание множества факторов. В связи с этим для определения надежности системы ВАДС в сложных эксплуатационных и дорожно-климатических условиях необходимо применять системный подход оценки совместного действия факторов.

- Для моделирования влияния сложного сочетания множества факторов на надежность автомобиля, как доминирующей подсистемы в системе ВАДС, в качестве объединенного показателя можно использовать крутящий момент на полуосях автомобиля (мощность автомобиля в эксплуатационных условиях) или тяговое усилие автомобиля.

- Мощность автомобиля в эксплуатационных условиях, связанная с вероятностным характером факторов, определяющих его пробег, изменяется в обратной пропорциональности к росту коэффициента вариации.

- Потеря мощности, связанная с вероятностным характером факторов, в значительной степени расходуется в целом на снижение надежности системы ВАДС, и в частности – на снижение надежности автомобиля и дороги.

Литература

1. Ротенберг, Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда / Р.В. Ротенберг. – М.: Транспорт, 1986. – 215 с.

2. Patorniti, Nicholas P. A systems approach to citydesign: Exploring the compatibility of socio-technical systems / Nicholas P. Patorniti., Nicholas J. Stevens., Paul M. Salmon // Habitat International. – 2017. – Vol. 66. – P. 42–48. DOI: 10.1016/j.habitatint.2017.05.008

3. Haque, M. Ohidul Evaluating the effects of the road safety system approach in Brunei / M. Ohidul Haque, Tariq H. Haque // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2018. – Vol. 118. – P. 594–607.

4. Баженов, Ю.В. Основы теории надежности машин: учеб. пособие / Ю.В. Баженов. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 157 с.

5. Jamous, Wael. Assessing travel time reliability implications due to roadworks on private vehicles and public transport services in urban road networks / Wael Jamous, Chandra Balijepalli //

Расчет и конструирование

Journal of Traffic and Transportation Engineering. – 2018. – Vol. 5, iss. 4. – P. 296–308. DOI: 10.1016/j.jtte.2017.09.003

6. Hund, Lauren. *A causal perspective on reliability assessment* / Lauren Hund, Benjamin Schroeder // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2020. – Vol. 195. – Number 106678. DOI: 10.1016/j.ress.2019.106678

7. Болдин, А.П. *Надежность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта: учеб. пособие* / А.П. Болдин, В.И. Сарбаев. – М.: Изд-во МАИИ, 2010. – 206 с.

8. Zhang, Rong *Estimation of network level benefits of re-liability improvements in intermodal freight transport* / Rong Zhang, Wenliang Jian, Lóránt Tavasszy // *Research in Transportation Economics*. – 2018. – Vol. 70. – P. 1–8. DOI: 10.1016/j.retrec.2018.09.002

9. *Оценка эффективности эксплуатации автомобилей в условиях высокогорья республики Таджикистан* / А.М. Умирзоков, А.А. Саилов, Б.Ж. Мажитов и др. // *Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф., 24–25 нояб. 2016 г., г. Владимир, Владимир. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*. – Владимир: Аркаим, 2016. – С. 110–117.

10. Wiese, Frauke. *Conceptual model of the industry sector in an energy system model: A case study for Denmark* / Frauke Wiese, Mattia Baldini // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 203. – P. 427–443. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.229

11. Агеев, Л.Е. *Эксплуатация энергонасыщенных тракторов* / Л.Е. Агеев, С.Х. Бахриев. – М.: Агрпромиздат, 1991. – 271 с.

12. Корн, Г. *Справочник по математике для научных работников и инженеров* / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1977. – 832 с.

13. Турсунов, А.А. *Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации* / А.А. Турсунов. – Душанбе: Ирфон, 2003. – 356 с.

14. *Надежность в машиностроении: справочник* / под общ. ред. В.В. Шапкина и Г.П. Карзова. – СПб.: Политехника, 1992. – 719 с.

15. Rajak, Sonu *Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic* / Sonu Rajak, P. Parthiban, R. Dhanalakshmi // *Ecological Indicators*. – 2016. – Vol. 71. – P. 503–513. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.07.031

16. *A conceptual model for persuasive in-vehicle technology to influence tactical level driver behavior* / Paul van Gent, Haneen Farah, Nicole van Nes, Bart van Arem // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. – 2019. – Vol. 60. – P. 202–216.

17. *Технология автомобилестроения: учеб. для вузов* / А.Л. Карунин, Е.Н. Бузник, О.А. Дащенко и др.; под ред. О.А. Дащенко. – М.: Академ. проект: Трикста, 2005. – 624 с.

18. Яхьяев, Н.Я. *Основы теории надежности и диагностика: учеб. для вузов* / Н.Я. Яхьяев, А.В. Короблин. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – 256 с.

19. Caddy, Ian N. *Supply chains and their management: Application of general systems theory* / Ian N. Caddy, Mammy M. Helou // *Journal of Retailing and Consumer Services*. – 2007. – Vol. 14, iss. 5. – P. 319–327.

20. *Reliability Assessment of a Packaging Automatic Machine by Accelerated Life Testing Approach* / Alberto Regattieri, Francesco Piana, Mauro Gamberi, Francesco Gabriele Galizia, Andrea Casto // *Procedia Manufacturing*. – 2017. – Vol. 11. – P. 2178–2186.

Сайдуллозода Сайвали Сайдулло, аспирант кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, saivali.saidullo@mail.ru.

Мамбеталин Кахим Токушевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, kahim2010@mail.ru.

Умирзоков Ахмад Маллабоевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика твердых тел», Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Республика Таджикистан, ahmad.umirzokov@mail.ru.

Маллабоев Умарджон Маллабоевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Электроэнергетики», Тюменский индустриальный университет, Тобольский индустриальный институт (филиал), г. Тобольск, umallabotv@rambler.ru.

Поступила в редакцию 26 декабря 2019 г.

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF THE DRIVER – CAR – ROAD – ENVIRONMENT (DCRE) SYSTEM IN MOUNTAIN CONDITIONS

S.S. Saydulozoda¹, saivali.saidullo@mail.ru,
K.T. Mambetalin¹, kahim2010@mail.ru,
A.M. Umirzokov², ahmad.umirzokov@mail.ru,
U.M. Mullaboev³, umallabotv@rambler.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

²Tajik National University, Dushanbe, Republic of Tajikistan,

³Tyumen Industrial University, Tobolsk Industrial Institute (branch), Tobolsk, Russian Federation

The article provides an assessment of the factors affecting the reliability of the DCRE system in mountain conditions. A more detailed classification of factors affecting the reliability of the DCRE system in mountain conditions is given for such groups of features as design and technological, operational and road-climatic. In addition, the article gives a classification of factors affecting the reliability of the DCRE system in mountain conditions based on controllability. In both classifications, particular importance is given to such factors as altitude, the reliability structure of the elements of the DCRE system, the reliability structure of the elements of the car, the subsystems of the DCRE system, the probabilistic nature of the influence of external influences on the elements of the car, the types and frequency of maneuvers, their dynamism, etc. The specifics of the influence of the main factors determining the reliability and durability of heavy-duty mining car in difficult and extreme conditions of cargo transportation in mountain conditions are analyzed and justified. To assess the influence of the stochastic nature of external influences that determine the dynamics of the interaction of the car with the roadway, depending on the sample size, the nature of the process, the state of the object under study and other factors, the most rational methods based on probability theory are substantiated. Three of them are recommended for an adequate assessment of the impact of external influences on the output indicators of the car, in particular to assess the process of interaction of the car with the roadbed, which has a probabilistic character. Among the recommended estimation methods are included such methods as the method of approximating the external load with a periodic function such as a sinusoid with certain values of the amplitude and period of oscillation, the method of expanding the periodic function in Fourier series and the probabilistic-statistical method, which is based on taking into account the action of many random factors characterized by stable frequency.

Keywords: DCRE system, reliability, reliability structure, probably-statistical method, Fourier series.

References

1. Rotenberg R.V. *Osnovy nadezhnosti sistemy voditel' – avtomobil' – doroga – sreda* [Basics of Reliability of the Driver – Car – Road – Environment System]. Moscow, Transport, 1986. 215 p.
2. Patorniti Nicholas P., Stevens Nicholas J., Salmon Paul M. A Systems Approach to City Design: Exploring the Compatibility of Sociotechnical Systems. *Habitat International*, 2017, vol. 66, pp. 42–48. DOI: 10.1016/j.habitatint.2017.05.008
3. Haque M. Ohidul, Haque Tariq H. Evaluating the Effects of the Road Safety System Approach in Brunei. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, vol. 118, pp. 594–607.
4. Bazhenov Yu.V. *Osnovy teorii nadezhnosti mashin: ucheb. posobie*. [Fundamentals of Machine Reliability Theory: Tutorial] Publishing House Vladimir State University, 2006. 157 p.
5. Jamous Wael, Balijepalli Chandra. Assessing Travel Time Reliability Implications Due to Roadworks on Private Vehicles and Public Transport Services in Urban Road Networks. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2018, vol. 5, iss. 4, pp. 296–308. DOI: 10.1016/j.jtte.2017.09.003
6. Hund Lauren, Schroeder Benjamin. A Causal Perspective on Reliability Assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 2020, vol. 195, number 106678. DOI: 10.1016/j.res.2019.106678

7. Boldin A.P., Sarbaev V.I. *Nadezhnost' i tekhnicheskaya diagnostika podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: ucheb. posobie* [Reliability and Technical Diagnostics of Rolling Stock of Road Transport: a tutorial]. Moscow, 2010. 206 p.
8. Zhang Rong, Jian Wenliang, Tavasszy Lóránt. Estimation of Network Level Benefits of Reliability Improvements in Intermodal Freight Transport. *Research in Transportation Economics*, 2018, vol. 70, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.retrec.2018.09.002. doi.10.1016/j.retrec.2018.09.002
9. Umirzokov A.M., Saibov A.A., Mazhitov B. Zh., Berdiev A.L., Tursunov F.A. [Evaluation of the Efficiency of Car Operation in the High Mountains of the Republic of Tajikistan]. *Aktual'nyye problemy ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv: materialy XVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 24–25 noyab. 2016 g., g. Vladimir* [Current Topics of the Operation of Vehicles: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference]. Vladimir, 2016, pp. 110–117. (in Russ.)
10. Wiese Frauke, Baldini Mattia. Conceptual Model of the Industry Sector in an Energy System Model: A Case Study for Denmark. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 203, pp. 427–443.
11. Ageev L.E., Bahriev S.H. *Ekspluatatsiya energonasyshchennykh traktorov* [Operation of Energy-Saturated Tractors]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1991. 271 p.
12. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Math Reference Book for Scientists and Engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 832 p.
13. Tursunov A.A. *Upravlenie rabotosposobnost'yu avtomobilej v gornyh usloviyah ekspluatatsii*. [Managing Vehicle Performance in Mountainous Conditions]. Dushanbe: Irfon, 2003. 356 p.
14. Shashkina V.V., Karzova G.P. *Nadezhnost' v mashinostroenii. spravochnik* [Reliability in Mechanical Engineering: a guide.]. St. Petersburg, Politekhnika Publ., 1992. 719 p.
15. Rajak Sonu, Parthiban P., Dhanalakshmi R. Sustainable Transportation Systems Performance Evaluation Using Fuzzy Logic. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 71, pp. 503–513. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.07.031
16. Gent Paul van, Farah Haneen, Nes Nicole van, Arem Bart van. A Conceptual Model for Persuasive in-Vehicle Technology to Influence Tactical Level Driver Behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2019, vol. 60, pp. 202–216.
17. Karunin A.L., Buznik E.N., Dashchenko O.A., etc. *Tekhnologiya avtomobilestroeniya: uchebnik dlya vuzov* [Automotive Technology: a textbook for universities]. Moscow, Akademicheskij proekt Publ., Triksa Publ., 2005. 624 p.
18. Yah'yaev N.Ya., Korablin A.V. *Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika: uchebnik dlya vuzov* [The Basics of Reliability Theory and Diagnostics: a textbook for universities]. Moscow, Akademiya Publ., 2009. 256 p.
19. Caddy Ian N., Helou Mammy M. Supply Chains and Their Management: Application of General Systems Theory. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2007, vol. 14, iss. 5, pp. 319–327.
20. Regattieri Alberto, Piana Francesco, Gamberi Mauro, Galizia Francesco Gabriele, Casto Andrea. Reliability Assessment of a Packaging Automatic Machine by Accelerated Life Testing Approach. *Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 11, pp. 2178–2186.

Received 26 December 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Оценка надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда (ВАДС) в горных условиях / С.С. Сайдуллозода, К.Т. Мамбеталин, А.М. Умирзоков, У.М. Маллабоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 38–46. DOI: 10.14529/engin200105

FOR CITATION

Saydulozoda S.S., Mambetalin K.T., Umirzokov A.M., Mullaboev U.M. Assessment of Reliability of the Driver – Car – Road – Environment (DCRE) System in Mountain Conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 38–46. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin200105